Über die Resorption von Nahrungs - Calcium und den Calcium - Austausch im Skelett bei Legehennen

ALOIS KEHRER

Berlyn 1966

Aus dem Institut für
Tierzucht und Tierernährung

der

Freien Universität Berlin

Direktor: Professor Dr. Kurt Bronsch

Über die Resorption von Nahrungs - Calcium und den Calcium - Austausch im Skelett bei Legehennen.

INAUGURAL - DISSERTATION

zur
Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin

an der

Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Alois Kehrer
aus Putzleinsdorf
Österreich

Berlin 1966

Journal - Nr.: 543

Gedruckt mit Genehmigung der Veterinärmedizinischen Fakultät

der

Freien Universität Berlin

Dekan:	Prof. Dr. J. Boch
Referent:	Prof. Dr. K. Bronsch
Korreferent:	Prof. Dr. Dr. K. Drepper

Tag der Promotion:

12. Juli 1966

UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK - LEIDEN -

Inhaltsverzeichnis

		Seite
I.	EINLEITUNG	1
II.	LITERATUR	2
	A. Untersuchungen über den Ca-Stoffwechsel an nicht kolostomierten Legehennen mittels Radio-Calcium	2
	1. Erste Tracer-Experimente	3
	2. Bestimmung der Resorption und Retention von Calcium	4
	3. Zur Dynamik der Mobilisation von Skelett-Calcium	5
	B. Ca-Resorptionsstudien an kolostomierten Legehennen	9
III.	EIGENE VERSUCHE	12
	A. Arbeitsplan	12
	B. Tiermaterial und Methodik	14
	1. Versuchstiere	14
	2. Durchführung der Versuche	14
	3. Analytik	17
	a) Aufbereitung der Proben Kot Eier Knochen	17
	b) chemische Bestimmung von Calcium	18
	c) Messung der Ca^{45} - Aktivität	19
IV.	ERGEBNISSE	20
	A. Das Verhalten der spezifischen Aktivität des Eischalen-Ca während und nach Verfütterung einer Ca^{45} - markierten Diät	20
	B. Der Umfang des in der Periode 1 ausgetauschten Skelett-Calciums	24
	C. Das Ausmaß der endogenen Ca-Ausscheidung mit den Faeces und die aus der Nahrung resorbierte Ca-Menge	29
	D. Die Ca^{45} - Bilanz über den gesamten Versuchszeitraum	37
	E. Angaben über die Legeleistung während des Experiments	38
V.	DISKUSSION	40
VI.	ZUSAMMENFASSUNG	48
VII.	LITERATURVERZEICHNIS	51

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546527_0060

Über die Resorption von Nahrungscalcium und den Calcium-Austausch im Skelett bei Legehennen.

I. EINLEITUNG

Über den Umfang der Resorption von Nahrungscalcium und dessen Einbau in die Eischale sowie über das Ausmaß und die Geschwindigkeit des Calcium-Umsatzes im Skelett liegen beim Legegeflügel bisher nur wenige Daten vor. Dies erschwert die Aufstellung optimaler Ca-Bedarfsnormen sowie die Ermittlung und das Abstellen der Ursachen von Mineralstoffwechselmängeln und -störungen, wie sie sich besonders bei den heute bevorzugt gehaltenen Hybridlegehennen im Bereich des Skeletts und in mangelnder Stabilität der Eischalen zeigen.

Resorption, Deposition und Mobilisation von Calcium können quantitativ nur dann bestimmt werden, wenn im Kloakenexkret bzw. der Eischale oder im Skelett die exogenen, aus einer bestimmten Futter-Ration stammenden Ca-Anteile vom endogenen, bereits im Körper befindlichen Calcium zu unterscheiden sind. Dies wird nach radioaktiver Markierung des exogenen oder des endogenen Calciums möglich.

Um die bisherigen Kenntnisse über einzelne Vorgänge innerhalb des Ca-Stoffwechsels beim Legehuhn mit einem experimentellen Beitrag zu erweitern, hat mir Herr Professor Dr. K. B R O N S C H die Aufgabe gestellt, den Einbau von Ca^{45} - markiertem Nahrungscalcium in das Skelett und in die Eischale zu verfolgen sowie zur Berechnung des Ca-Resorptionskoeffizienten die endogene Calcium-Ausscheidung in den Kloakenexkreten zu bestimmen.

II. L I T E R A T U R

In den vergangenen 30 Jahren wurde über den Calciumstoffwechsel der Legehennen eine große Anzahl von Versuchsergebnissen publiziert. Der überwiegende Teil dieser Experimentalarbeiten erstreckt sich auf Ca-Bilanzuntersuchungen über kürzere oder längere Dauer bei unterschiedlicher Ca-Zufuhr, auf Beobachtungen über Veränderungen des Serumcalciumspiegels und der Beschaffenheit des Skeletts in verschiedenen Alters- und Leistungsabschnitten sowie auf Fütterungsversuche in Zusammenhang mit der Eischalenstabilität. Da über die grundlegenden Vorgänge im Ca-Haushalt des Geflügels Literaturzusammenstellungen neueren Datums vorliegen (FUSSEL, 6; SIMKISS, 15; STRINGER, 16, TAYLOR,17;), sollen in diesem Kapitel lediglich solche Arbeiten eingehend besprochen werden, die zur Frage der Resorption von Nahrungscalcium und dessen Einbau in das Skelett und in die Eischalen Stellung nehmen.

A. Untersuchungen über den Ca-Stoffwechsel an nicht kolostomierten Legehennen mittels Radio-Calcium

1. Erste Tracer-Experimente

Die ersten Tracer-Experimente auf dem Gebiet des Ca-Stoffwechsels beim Geflügel wurden 1948 von COMAR und DRIGGERS (3) mit dem künstlich radioaktiven Calcium-Isotop Ca^{45} durchgeführt. Die Autoren stellten fest, daß in der Schale eines Eies, das 24 Stunden nach oraler Gabe von 15 μCi Ca^{45} abgelegt wurde, 30 - 35 % der verabreichten Dosis enthalten waren. Hieraus war zu folgern, daß Legehennen einen hohen Prozentsatz des mit der Nahrung aufgenommenen Calciums schnell in die Eischale einbauen.

HASHIZUME und Mitarb. (9) zeigten in einem Versuch an 3 Legehennen, die in 5 Tagen nach oraler Ca^{45}- Application 0 bzw. 1 bzw. 3 Eier legten, daß die Ca^{45}- Retention mit 30 bzw. 22 bzw. 14 % der ursprünglich eingegebenen Dosis eine starke Abhängigkeit von der Zahl der gelegten Eier aufwies.

BERLIE (1) beobachtete 1949 bei einem Huhn, dem täglich Ca^{45}-haltiges Calciumcarbonat verabreicht wurde, nach 8 tägiger Fütterungsdauer in der Eischale eine konstante spezifische Ca^{45}-Aktivität, die durch den Quotienten

$$\frac{Ca^{45} \text{ in Ci}}{\text{Gesamt - Ca in g}}$$

definiert ist. Dieser Befund ließ vorerst den Schluß zu, daß sich in der austauschbaren Fraktion des Calcium im Skelett nach einer Woche eine konstante spezifische Ca^{45}- Aktivität eingestellt hatte und die inaktiven Ca - Anteile im "medullary bone" innerhalb von 8 Tagen vollständig durch markiertes Nahrungscalcium ausgetauscht wurden.

JOWSEY und Mitarb.(11) stellten in einem ähnlichen Experiment mit einer Legehenne, an die 26 Tage lang Ca^{45} - markiertes Calciumcarbonat verfüttert wurde, bis zu diesem Zeitpunkt ein ständiges Anwachsen des auf die Ca^{45}-Einnahme einer Fütterung bezogenen Quotienten

$$\frac{Ca^{45}}{Ca}$$

in den Kloakenexkreten und Eischalen fest. Trotz dieses etwas ungewöhnlichen Bezugsystems ist aus den Versuchsergebnissen zu ersehen, daß vom austauschbaren Skelett-Calcium die inaktiven Ca-Anteile frühestens nach 26 Tagen vollständig durch markiertes Calcium ersetzt wurden.

2. Bestimmung der Resorption und Retention von Nahrungscalcium

MUELLER und Mitarb. (12) veröffentlichten 1964 die bisher aufschlußreichsten Daten über die Verwertbarkeit von Nahrungscalcium sowie über die dynamischen Prozesse des Ca - Austausches im Skelett von Legehennen. 24 White-Leghorn-Hennen im Alter von 311 Tagen erhielten 26 Tage lang eine Ca^{45}-markierte Ration mit einem Gesamt-Ca-Gehalt von 1,95 %. Die Markierung der Ration erfolgte durch Einmischen einer verdünnten $Ca^{45}Cl_2$-Lösung. Vom 27. Tag an ist den Tieren vier Wochen lang die gleiche, jedoch kein Radiocalcium enthaltende Diät verabreicht worden. Der Futterverzehr der einzelnen Tiere wurde vom 35. bis 45. Tag ermittelt. Zur Bestimmung des jeweiligen Gehaltes an Ca und Ca^{45} wurden die bei den einzelnen Tieren innerhalb von 24 Stunden angefallenen Exkremente im gleichen Zeitraum an 6 verschiedenen Tagen quantitativ gesammelt. Mittels eines unresorbierbaren Indikators (Cr_2O_3) wurde an den gleichen Tagen die prozentuale Ca-Retention erfaßt.

Tabelle 1

Der Ca-Resorptions-Koeffizient bei Legehennen (nach MUELLER und Mitarb.,12)

	Durchschnitt aller Hennen	während Legetätigkeit	während Legepause
a	2,32	2,32	2,32
b	0,70	0,67	0,84
$\frac{a - b}{a} \times 100$	70	71	64
c	0,18	0,16	0,28
$\frac{c}{b} \times 100$	26	24	33
a - b + c	1,80	1,81	1,76
$\frac{a - b + c}{a} \times 100$	78	78	76

Hierbei sind:

a	Ca-Einnahme pro Huhn und Tag in g
b	Ca-Ausscheidung im Kot pro Huhn und Tag in g
$a - b$	Ca-Retention in g-Differenz zwischen Ca-Einnahme und -Ausscheidung mit den Faeces
$\frac{a - b}{a} \times 100$	Ca-Retention in Prozent der Ca-Einnahme
c	endogenes Kot-Ca in g pro Tier und Tag bestimmt nach der Isotopenverdünnungsmethode
$\frac{c}{b} \times 100$	endogene Ca-Exkretion in Prozent der Ca-Ausscheidung
$a - b + c$	Ca-Resorption pro Huhn und Tag in g
$\frac{a - b + c}{a} \times 100$	Ca-Resorption in Prozent der Ca-Einnahme

Aus den in der Tabelle 1 wiedergegebenen Bilanzdaten geht hervor, daß bei einer durchschnittlichen Ca-Einnahme von 2,32 g pro Tier und Tag an Legetagen 1,81 g Ca oder 78 % und an Tagen ohne Eiablage 1,76 g Ca oder 76 % resorbiert wurden. Demnach hat die Verkalkung der Eischalen auf den Ca-Resorptions-Koeffizienten keinen signifikanten Einfluß. Hingegen war die endogene Ca - Exkretion an Legetagen mit 0,16 g bzw. 24 % pro Tier und Tag signifikant geringer als während der Legepause, in der 0,28 g oder 33 % des Calcium in den Exkrementen endogener Herkunft waren. Weiterhin war die Ca-Retention an Legetagen mit 71 % signifikant höher als an Tagen ohne Eiablage, wo sie nur 64 % betrug.

3. Zur Dynamik der Mobilisation von Skelett-Calcium

Der Umfang des Ca-Einbaues und -Austauschs im Skelett ist aus den Meßdaten auf Grund nachstehender Überlegungen berechnet worden. Dabei bedeuten:

Ca = Gesamt-Calcium
Ca^* = Ca^{45}-markiertes Calcium, gemessen in Impulsen pro Minute
Ca_{in} = Ca-Einnahme
Ca_{ex} = Ca-Ausscheidung
Ca_{ret} = Ca-Retention
Ca_{abs} = resorbiertes Calcium
Ca_{end} = endogenes Calcium
Ca_{Schale} = Eischalen-Calcium
Ca_{b+} = in das Skeltt eingebautes Ca
Ca_{b-} = aus dem Skelett mobilisiertes Ca
U = austauschbares Skelett-Ca
U^* = austauschbares Skelett-Ca^*
SA_{abs} = spez. Aktivität des resorbierten Calcium
SA_{Futter} = " " " Futter-Calciums
SA_{end} = " " " endog.Calcium
SA_{Schale} = " " " Eischalen-Calciums
$SA_{Skelett}$ = " " " mobilisierbaren Skelett-Calciums

Nach den Versuchsergebnissen erreichte die spezifische Aktivität des Eischalen-Calciums am 18. Tag dieselbe Höhe wie das Futter-Calcium. Daraus folgt, daß auch die spezifische Aktivität des austauschbaren Skelett-Calciums annähernd gleich groß sein muß wie die des Nahrungs-Calciums.

Wenn

$$Ca^*_{ret} = Ca^*_{in} - Ca^*_{ex} \quad \text{mit den Exkrementen,} \quad (1)$$

ferner

$$Ca^*_{b+} - Ca^*_{b-} = Ca^*_{ret} - Ca^*_{Schale} \quad (2a)$$

$$= Ca^*_{abs} - Ca^*_{Schale} - Ca^*_{endog.} \quad (2b)$$

so ist $U^*_{equ.}$, der Gehalt an austauschbarem Ca^* im Skelett zum Zeitpunkt des Eintrittes gleicher spezifischer Aktivitäten im Eischalen-Ca und im Futter-Ca, gleich der Summe aller $Ca^*_{b+} - Ca^*_{b-}$.

Da $SA_{abs} = SA_{Futter}$ und
$SA_{end} = SA_{Schale}$
berechneten MUELLER und Mitarb. (12) vom 1. bis zum 14. Tag

$Ca^*_{b+} - Ca^*_{b-}$ aus den Ergebnissen des Bilanz - Versuches und den spezifischen Aktivitäten des Futter- und des Eischalen-Calciums, wobei

$$Ca^*_{abs} = SA_{Futter} \times Ca_{abs},$$
$$Ca^*_{end} = SA_{Schale} \times Ca_{end}.$$

Vom 1. bis zum 12. Tag erfüllte $Ca^*_{b+} - Ca^*_{b-}$ folgende eingliedrige e - Funktion:

$$Ca^*_{b+} - Ca^*_{b-} = 188\,000\, e^{-0{,}134\, t} \qquad (3)$$

woraus U^*_{equ} durch Integrieren der Gleichung berechnet worden ist.

Da etwa ab dem 16. Tag

$$\frac{U^*_{equ}}{U} = SA_{Futter} \qquad (4a)$$

ist

$$U = \frac{U^*_{equ}}{SA_{Futter}} \qquad (4b)$$

Für t = 16 ergab sich U = 4,31 g,
für t = ∞ ergab sich U = 4,88 g.

Die Gleichung 2a kann auch folgendermaßen formuliert werden:

$$Ca^*_{b+} - Ca^*_{b-} = Ca_{b+} \times SA_{Schale} - Ca_{b-} \times SA_{Skelett} \qquad (5)$$

Da z.Z. t = 0, $SA_{Skelett}$ = 0, ist Ca_{b+} aus den Gleichungen (3) und (5) zu berechnen, wofür ein Wert von 1,02 g erhalten wurde.

Aus den Bilanzdaten ging hervor, daß

$$Ca_{b+} - Ca_{b-} = -0{,}02 \text{ g, folglich ist}$$
$$Ca_{b-} = 1{,}02 + 0{,}02$$
$$= 1{,}04 \text{ g.}$$

Nach dem Absetzen der markierten Ration wird $Ca^*_{abs} = 0$ und Gleichung (2b) vereinfacht sich folgendermaßen:

$$Ca^*_{b-} \text{ — } Ca^*_{b+} = Ca^*_{Schale} + Ca^*_{end}, \qquad (6)$$

wofür an Hand der Versuchsdaten eine zweigliedrige e-Funktion gefunden worden ist:

$$Ca^*_{b+} \text{ — } Ca^*_{b-} = 157\,800\, e^{-0,292t} + 58\,500\, e^{-0,0797t}. \qquad (7)$$

Hieraus ist die Menge an austauschbarem Skelett-Calcium (U) mit 4,42 g berechnet worden.

Angaben über das Ausmaß an schnell bzw. langsam mobilisierbarem Skelett-Calcium sind zusammen mit den oben abgeleiteten Daten in Tabelle 2 wiedergegeben.

T a b e l l e 2

Parameter des Ca-Stoffwechsels im Skelett
(nach MUELLER und Mitarb., 12)

	Ca-Gehalt der austauschbaren Ca-Fraktion in den Knochen(U) je Tier in g	Pro 24 Stunden aus dem Skelett mobilisierte Ca-Menge(Ca_{b-}) je Tier in g	in % d. Ca-Einn.
Über den abfallenden Teil d. spez. Aktivitätskurve (SA_{Schale}) berechnet:			
a)langsam mobilisierbares Skelett-Calcium	2,55	0,23	9,0
b)schnell mobilisierbares Skelett-Calcium	1,87	0,79	42,2
Summe (U)	4,42	1,02	23,2
Über den ansteigenden Teil d. spez. Aktivitätskurve (SA_{Schale}) berechnet: insgesamt mobilisierb. Skelett-Calcium(U)			
für: t = 16	4,31	1,04	24,1
t = ∞	4,88	1,04	21,3

6. Ca-Resorptionsstudien an kolostomierten Legehennen

Da beim Geflügel Kot und Harn gemeinsam zur Exkretion gelangen, ist versucht worden, die Resorption von Calcium auch an kolostomierten Tieren zu bestimmen. Die operative Verlegung des Darmendes (Anus praeternaturalis) beeinträchtigt jedoch in vielen Fällen die physiologischen Funktionen der Versuchstiere. So stellten GREUEL (7) und HARTFIEL (8) fest, daß es bei Langzeitversuchen mit kolostomierten Tieren meist zu Epithelwucherungen am Anus praeternaturalis kommt, woraus sich eine Erschwernis der Defäkation ergibt, die das Wohlbefinden und die Legeleistung der Tiere in hohem Maße negativ beeinflußt. Auch den experimentellen Daten von FUSSEL (6) ist zu entnehmen, daß die Anus praeternaturalis-Operation die Leistung der Versuchstiere nicht unbeeinflußt läßt. Die einzelnen Tiere wiesen während der Versuchsdauer folgende Legeleistung auf:

T a b e l l e 3

Legeleistung kolostomierter Legehennen (nach FUSSEL;(6)

Tier Nr.	Versuchstage	Zahl der Eier	Legeleistung in %
312	128	24	18,75
319	178	52	29,20
335	162	59	36,40
375	50	21	42,00

Die von ihm an 4 Tieren bei unterschiedlichen Ca-Gehalten des Futters ermittelte "scheinbare" Ca-Resorption * (siehe Tabelle 4) ist daher nicht ohne weiteres auf Hochleistungstiere zu übertragen.

---

* Die "scheinbare" Ca-Resorption umfaßt die Differenz zwischen der Ca-Einnahme und der Ca-Ausscheidung im Kot ohne Harn. Diese Angaben sind nur bei Versuchen mit kolostomierten Tieren möglich.

Tabelle 4

Die durchschnittliche tägliche Aufnahme und "scheinbare" Resorption von Calcium bei verschiedenem Ca-Gehalt des Futters (Durchschnittswerte von 4 Hühnern nach FUSSEL; 6)

Ca-Aufnahme pro Tier und Tag in g	scheinbare Ca-Resorption pro Tier und Tag in g	scheinbare Ca-Resorption pro Tier und Tag in %
0,92	0,58	63
2,53	1,14	45
5,90	1,30	22

BROWN und McCRACKEN (2) führten ebenfalls an 3 kolostomierten Thornber-404-Hybrid-Legehennen mittels der Isotopenverdünnungsmethode Bestimmungen der Ca-Resorption und Retention an 4 aufeinanderfolgenden 4-Tageperioden durch. Die Tiere bekamen täglich durchschnittlich 120 g einer Ration mit 2,25 % Calcium. Durch eine tägliche $Ca^{45}Cl_2$-Injektion in den beiden letzten Perioden (8 Tage lang) wurden konstante spezifische Aktivitäten des Serum- und Eischalen-Calciums erreicht, die beide zur Berechnung der endogenen Calcium-Fraktion im Kot herangezogen wurden. In der folgenden Tabelle sind die Durchschnittszahlen der beobachteten Kriterien von diesem Versuch wiedergegeben.

Tabelle 5

Durchschnittliche tägliche Aufnahme, Exkretion, Retention und scheinbare Resorption von Nahrungs-Calcium bei 3 kolostomierten Legehennen nach BROWN und McCRACKEN (2)

Ca-Aufnahme in g pro Tier und Tag	2,47	±	0,13
Ca-Exkretion in g pro Tier u.Tag			
a) in den Faeces	0,95	±	0,10
b) endogenes Ca in den Faeces	0,025	±	0,005
c) im Urin	0,12	±	0,02
endogenes Ca insgesamt	0,145	±	0,025
Ca-Resorption, scheinbare in g	1,52	±	0,16
Ca-Retention in g	1,40	±	0,17
Ca-Resorption in %	60,8	±	4,5
Ca-Retention in %	56,6	±	5,0

Die "scheinbare" Ca-Resorption betrug demnach 1,52 ± 0,16 g Ca pro Tier und Tag oder 60,8 ± 4,5%. Der tatsächliche Ca-Resorptionskoeffizient unterscheidet sich hiervon nur unwesentlich, da bei diesen Untersuchungen der über den Harn exkretierte Ca-Anteil getrennt erfaßt wurde und der endogene, faecale Ca-Anteil lediglich 2-3% des Gesamt-Ca im Kot beträgt. Dies entspricht einer durchschnittlichen, endogenen Ca-Exkretion über den nicht mit Harn vermengten Kot von ca 25 mg pro Tier und Tag. Die aus den spezifischen Aktivitäten des Eischalen-Calciums errechneten endogenen Ca-Gehalte im Kot liegen pro Tier und Tag zwischen 2 und 10% des gesamten Kot-Calciums und betragen 0,023 bis 0,091 g endogenes Kot-Calcium. Dies zeigt, daß die endogene Ca-Ausscheidung im Kot (ohne Harn) unbedeutend ist. Die endogene Calcium-Ausscheidung in den Exkrementen insgesamt (Harn + Kot) betrug 0,12 g + 0,025 g = 0,145 g Ca pro Tier und Tag. Dieser Wert stimmt gut mit den Angaben von MUELLER und Mitarb.(12) überein, die bei Hennen an Legetagen 0,168 g endogenes Calcium in den Exkrementen mittels der spezifischen Aktivitäten im Kot und in den Eischalen errechneten.

Bei etwa gleich hoher Ca-Zufuhr in den beiden genannten Experimenten liegen jedoch die Prozentsätze der Resorption und Retention für Calcium bei BROWN und McCRACKEN (6) deutlich niedriger als diejenigen, die von MUELLER und Mitarb. (12) gefunden wurden.

III. EIGENE VERSUCHE

A. ARBEITSPLAN

Über das Ausmaß der Ca-Resorption bei Legehennen liegen bisher nur wenige Daten vor. Beträchtliche methodische Schwierigkeiten stehen derartigen Untersuchungen beim Geflügel entgegen.

BROWN und McCRACKEN(2) zeigten an 3 kolostomierten Tieren unter Verwendung von Ca^{45} als Indikator, daß die endogene Ca-Exkretion bei Hühnern vorwiegend über den Harn erfolgt und das endogene Kot-Calcium in Höhe von 3 % des gesamten Kot-Calciums praktisch vernachlässigt werden kann. Demnach ist bei kolostomierten Tieren die aus der Nahrung zur Resorption kommende Ca-Menge auf dem Wege der Bilanz mit hinreichender Genauigkeit zu bestimmen.
Die operative Anlage eines Anus praeternaturalis ist jedoch praktisch immer nur bei einer verhältnismäßig kleinen Zahl von Tieren möglich; FUSSEL (6) standen z.B. für seine Untersuchungen lediglich 4 kolostomierte Hennen zur Verfügung. GREUEL (7) und HARTFIEL (8) beschrieben sehr anschaulich die nach Kolostomie zu beobachtenden Komplikationen, die vor allem wegen Epithelwucherungen am verlegten Darmende die Defäkation erschweren. Daß darüber hinaus bei Hochleistungstieren nach diesem operativen Eingriff mit einem Rückgang der Legeleistung zu rechnen ist, geht aus den von FUSSEL (6) mitgeteilten Daten hervor.

Eine andere Möglichkeit, das Ca-Resorptionsgeschehen bei Legehennen zu erfassen, bietet das Verfahren der Isotopenverdünnung. Das Prinzip dieser Methode beruht auf einer radioaktiven Signierung der endogenen Ca-Fraktion, die sodann im Kloakenexkret auch in Gegenwart der exogenen Ca-Anteile quantitativ bestimmt werden kann. An nicht kolostomierten Tieren ermittelten bisher nur MUELLER und Mitarb. (12) den Resorptionskoeffizienten für Nahrungs-

Calcium und zwar an 24 Single-Comb-White-Leghorn-Hennen. Es besteht daher die Notwendigkeit, noch weitere Daten, insbesondere über die absolut pro Tier und Tag zur Resorption gelangenden Ca-Mengen bei Legehennen verschiedener Rassen sowie unterschiedlicher Alters- und Leistungsklassen zu erarbeiten.

Aus diesem Grunde wurde mir die Aufgabe gestellt, unter Anwendung des Verfahrens der Isotopenverdünnung den Umfang der Ca-Resorption bei ein- und zweijährigen HNL-Legehennen zu bestimmen (Periode 2 des Versuches). Die vorherige Markierung der endogenen Ca-Fraktion soll dabei auf dem Wege der Verfütterung von Radio-Calcium (Ca^{45}) vorgenommen werden (Periode 1). Da außerdem die Vorgänge des Einbaues und Austausches von Nahrungs-Calcium im Skelett untersucht werden sollen, muß gewährleistet sein, daß das Radio-Calcium in derselben chemischen Form verabreicht wird, wie das übrige Nahrungscalcium. Hierzu ist eine möglichst Ca-arme, sonst jedoch alle Nähr-, Mineral- und Wirkstoffe in optimalen Mengen enthaltende Versuchsration zusammenzustellen, die in P e r i o d e 1 mit Ca^{45}-markiertem Calcium-Carbonat ($Ca^{*}\ CO_3$), entsprechend einen Gesamt-Ca-Gehalt von 3 % der Ration und in P e r i o d e 2 mit der gleichen Menge nichtmarkiertem Calcium-Carbonat ($CaCO_3$) zu supplementieren ist.

Als Kriterien sollen in der Periode 1 der Anstieg der spezifischen Aktivitäten (SA) des Eischalen-Calciums (SA-Schale) bis zum Eintritt des Gleichgewichts mit der spezifischen Aktivität des Futter-Ca (SA-Futter), in der Periode 2 die Ca-Bilanz sowie die SA-Schale und SA-Kot zur Berechnung des endogenen Calciums in den Kloakenexkrementen verfolgt werden.

B. Tiermaterial und Methodik

1. Versuchstiere

Die folgenden Untersuchungen über den Ca-Stoffwechsel beim Geflügel wurden an 12 HNL-Legehennen in 2 aufeinanderfolgenden Versuchen mit je 6 Tieren durchgeführt, welche aus einer Population von etwa 300 Legehühnern einheitlich nach Legeleistung und Gewicht ausgewählt waren. Die 6 Hennen der Gruppe 1 befanden sich zu Beginn des Versuches im 5. Legemonat in einem Alter von 10 Monaten, die der Gruppe II am Ende der 2. Legeperiode im Alter von 2 Jahren.

2. Durchführung der Versuche

Zwei Wochen vor Versuchsbeginn wurden die Tiere einzeln in Stoffwechselkäfige gesetzt, worin die Hennen Futter und Wasser nach Belieben aufnehmen konnten. Der anfallende Kot - worunter künftig in dieser Arbeit das aus der Kloake ausgeschiedene Exkret, bestehend aus Blinddarm- und Rektumkot sowie Harn zu verstehen ist - wurde in auswechselbaren Plastikschalen quantitativ aufgefangen. Die Eiablage ist jeweils mit Hilfe der von RAUCH (13) beschriebenen Zeituhr registriert worden. Beide Versuchstiergruppen befanden sich zusammen mit 150 anderen Legehennen in einem Raum, in dem eine konstante Temperatur zwischen 17 - 18°C und eine relative Luftfeuchtigkeit von 67 $\pm$ 4% herrschte. Ein automatisch geregeltes Lichtprogramm gewährleistete täglich von 4^h bis 22^h eine einheitliche Beleuchtung.

T a b e l l e 6

Daten der Versuchsanordnung:

Versuch	Leistungsstand der Tiere	Alter der Tiere in Monaten	Zahl d. Versuchstiere	Versuchsperioden in Tagen		Gesamtdauer der Versuche in Tagen	Tägliche Beleuchtungszeit in Stunden
				1	2		
I	Legehennen im 5. Legemonat	10	6	28	13	41	18
II	Legehennen am Ende d. 2.Legeperiode	24	6	34	12	46	18

Sämtliche Versuchstiere wurden bis 2 Wochen vor Beginn der Versuche mit handelsüblichem Legehennenalleinfutter versorgt.

Die eigentliche Versuchsration, mit der 14 Tage vorgefüttert wurde, bestand aus einer mineralstoffarmen Grunddiät, der 0,05% dl-Methionin, ferner Vitamine, Mineralstoffe und Spurenelemente zugemischt wurden. Ihre Zusammensetzung geht aus Tabelle 7 hervor. In der Ration bestand ein Ca/P-Verhältnis von 4,6 : 1. Die errechnete produktive Energie dieser Ration betrug 2145 Kcal/kg. In der fertig gemischten Ration wurden folgende Mineralstoffe analytisch ermittelt: 3,0% Ca, 0,62% P, 1,01% K und 0,21% Na.

Während der Periode 1, die in Versuch I 28 und in Versuch II 34 Tage dauerte, erhielten die Versuchstiere die gleiche, jedoch mit Ca^{45}-markiertem Calcium-Carbonat supplementierte Ration, deren spezifische Aktivität (SA_{Futter}) 0,967 nCi Ca^{45} pro mg Gesamt-Calcium betrug.

Nach Absetzen des mit Ca^{45}-markierten Futters wurde den Tieren in Periode 2 bis zum Versuchsende wiederum die mit inaktivem Ca CO_3 ergänzte Ration gegeben.

Tabelle 7

Zusammensetzung der Versuchsration

Mineralstoffarme Grund-Diät:		Analytisch ermittelte Inhaltsstoffe:	
46,0 %	Mais	17,0 %	Rohprotein
22,5 %	Milo	3,94 %	Rohfett
16,0 %	Sojaschrot (44%-ig)	3,0 %	Rohfaser
3,0 %	Luzernegrünmehl	0,23 %	Calcium
3,0 %	Weizennachmehl	0,42 %	Phosphor
3,0 %	Fleischmehl (55%-ig)	0,73 %	Kalium
3,0 %	Hefe	0,083 %	Natrium
2,5 %	Maisarin	0,244 %	Chlor
1,0 %	Vitamine		
100,0 %			

Zusätzlich eingemischte Substanzen:

a) Aminosäuren

Um das richtige Verhältnis von Methionin zum Gesamtprotein einzustellen, wurden 0,05 % dl-Methionin zugemischt.

b) Vitamine pro kg der fertigen Diät

6000 I.E.	Vitamin A
1500 I.E.	Vitamin D_3
4 mg	Vitamin B_2
8 mg	Ca-Pantothenat
20 mg	Niacin
100 mg	Cholinchlorid rein
10 mcg	Vitamin B_{12}

c) Mineralstoffe pro kg der fertigen Diät:

69,25 g $CaCO_3$	= 2,77% Ca				
5,00 g $MgSO_4 x 7H_2O$	=	0,048% Mg			
5,00 g $Na_2HPO_4 x 2H_2O$	=		0,097% P		0,129% Na
6,30 g K_2HPO_4	=		0,116% P	0,28% K	
Zusatz insgesamt:	2,77% Ca	0,048% Mg	0,203% P	0,28% K	0,129% Na

d) Spurenelementzusätze

80	ppm	Mangan
50	ppm	Zink
25	ppm	Eisen
2	ppm	Kupfer
0,1	ppm	Cobalt
0,77	ppm	Jod

In P e r i o d e 1 wurde für jedes Einzeltier der Futterverzehr bei Gruppe I jeweils alle 5-6 Tage und bei Gruppe II nach 3 bzw. 4 Tagen, also zweimal wöchentlich, festgestellt. Entsprechend erfolgte die Entnahme von Kotproben bei den einzelnen Tieren der jeweiligen Gruppe, also bei Gruppe I alle 5-6 Tage bzw. zweimal wöchentlich bei Gruppe II.

Demgegenüber kam es in P e r i o d e 2 darauf an, die Exkretion von endogenem Calcium bei Legehennen zur Zeit der Eischalenbildung und in den dazwischenliegenden Intervallen zu verfolgen. Aus diesem Grunde wurde der anfallende Kot in Abhängigkeit vom Legerhythmus jedes einzelnen Tieres so gesammelt, daß an Legetagen eine der 12-Stunden-Kotportionen der Phase der Eischalenverkalkung zuzuordnen war, während die andere 12-Stunden-Kotprobe in den Intervall ohne Mineralisationsvorgänge in der Schalendrüse fiel. Als Nichtlegetag wird in dieser Arbeit ein Zeitraum von 24 Stunden bezeichnet, in dessen Verlauf keine Eischalenmineralisation stattgefunden hat. Die Feststellung des Futterverzehrs erfolgte ebenfalls zweimal täglich für jedes Tier nach diesem Rhythmus.

Unmittelbar nach Beendigung der 2. Versuchsperiode wurden alle Tiere am Versuchsende (Versuch I nach 41 Tagen, Versuch II nach 46 Tagen) durch Dekapitieren getötet, entblutet, evtl. noch im Uterus befindliche Eier entnommen, jeder Tierkörper anschließend 1 1/2 Stunden lang autoklaviert und die Knochen herauspräpariert.

3. Analytik

a. Aufbereitung der Proben

Eier:

Von den während des Versuches angefallenen und gekennzeichneten Eiern wurde der Eiinhalt verworfen, die Schalen mit Wasser ausgewaschen und danach bei 105°C 12 Stunden getrocknet. Nach dem Abkühlen wurden die Eischalen gewogen und anschließend pulverisiert. Zur Einwaage kamen 0,2 g homogenes Eischalenpulver, die in einem 100 ml Kjeldahlkolben nach Zusatz von 10 ml eines Oxydationsgemisches verascht wurden.

Das Oxydationsgemisch bestand aus:

30 % konz. Schwefelsäure
30 % Aqua dest. und
40 % Perchlorsäure 70 - 72%ig;

Die aufgeschlossenen Proben wurden sodann mit Aqua dest. auf ein Volumen von 200 ml gebracht.

Kot:

Der gesammelte Kot wurde unter Zusatz von Aqua dest. homogenisiert, ebenfalls 12 Stunden bei 105°C getrocknet, gewogen, in einer Mörsermühle gemahlen und anschließend in Plastikbeuteln verwahrt. Zur Analyse wurden jeweils 0,5 g Kot-Trockensubstanz eingewogen und in einen 100 ml Kjeldahl-Kolben überführt. Die Veraschung erfolgte auf nassem Wege nach Hinzugabe von 10 ml des oben angegebenen Oxydationsgemisches. Die bis zur völligen Farblosigkeit veraschte Probe wurde auf ein Endvolumen von 100 ml mit Aqua dest. aufgefüllt.

Knochen:

Die reinen Knochen wurden bei langsam steigenden Temperaturen in Muffelöfen verascht. Bis zur völligen Veraschung war eine Endtemperatur von 600°C über 24 Stunden erforderlich. Nach dem Abkühlen wurde die Asche einzelner Knochen oder des ganzen Skeletts mit 1 n HCl in Lösung gebracht und dann jeweils auf definierte Volumina aufgefüllt.

b. Chemische Bestimmung von Calcium

Aus den Aschelösungen ist der Gesamt-Ca-Gehalt flammenphotometrisch unter Verwendung des Flammenphotometers von E P P E N D O R F bestimmt worden. Als Ver-

gleichslösung wurden Eichlösungen benutzt, die bei bekanntem Ca-Gehalt die gleiche Säurekonzentration wie die zu messende Probelösung aufwiesen.

c. Messung der Ca^{45} - Aktivität

Die 0,25 MeV-Betastrahlung des Ca^{45} wurde nach einem von ERDTMANN und HERRMANN (5) mitgeteilten Verfahren unter Verwendung eines Tri-Carb-Scintillationsspektrometers (Modell 4312 Fa.Packard) bei einer Verstärkung von 7,5% und einer Fenstereinstellung von 50-1000 bzw. 200 - 1000 bzw. 600 - 1000 Teilstrichen gemessen. Hierbei sind jeweils 10 ml aus den Ascheaufschlüssen in 9 g Gel-Scintillator eingebracht und durch 1 Minute langes Schütteln mit einem Vibro-Mixer zu einer stabilen Emulsion verarbeitet worden. Zur Quenchkontrolle diente einmal das Impulsratenverhältnis der beiden Meßkanäle und zum anderen ein externes Radiumstandardpräparat.

V. E R G E B N I S S E

Als Ergebnisse der im vorigen Kapitel beschriebenen Versuche werden nachstehend einzeln dargestellt:

A. Das Verhalten der spezifischen Aktivität des Eischalen-Ca während und nach der Verfütterung einer Ca^{45}-markierten Ration

B. Der Umfang des in Periode 1 ausgetauschten inaktiven Skelett-Calciums

C. Das Ausmaß der endogenen Ca-Ausscheidung mit den Faeces und die aus der Nahrung resorbierte Ca-Menge

D. Die Ca^{45}-Bilanz über den gesamten Versuchszeitraum

E. Angaben über die Legeleistung der Versuchstiere während des Experiments

A. Das Verhalten der spezifischen Aktivität des Eischalen-Calciums

Die durchschnittlichen spezifischen Aktivitäten des Eischalen-Calciums (SA_{Schale}) während und nach Verfütterung einer mit Ca^{45}-markierten Ration sind in zeitlicher Abhängigkeit für Versuch I in Abb. 1 und für Versuch II in Abb. 2 dargestellt. Die Bezugsgröße der im logarithmischen Maßstab aufgetragenen SA_{Schale} war jeweils die gleich 100 gesetzte spezifische Aktivität des Nahrungs-Calciums (SA_{Futter}).

Wie ein Vergleich beider Abbildungen zeigt, verhalten sich die spezifischen Aktivitäten des Eischalen-Calciums in Versuch I und II prinzipiell gleich. In den ersten 5 Tagen nach Verfütterung der Ca^{45}-markierten Ration steigt die SA_{Schale} sehr rasch an und erreicht etwa 70 % der SA_{Futter}. Zwischen dem 5. und 10. Tag erhöht sich die SA_{Schale} nicht mehr so schnell und beträgt am Ende dieses Zeitabschnittes

87,7 $\pm$ 1,3 % (Versuch I)
und 84,0 $\pm$ 1,0 % (Versuch II) der SA_{Futter}.

Etwa nach dem 10. Tag der Verfütterung der radioaktiv signierten Diät nimmt die SA_{Schale} nur mehr um geringe Beträge zu, ohne bis zum Absetzen der Ca^{45}-markierten Ration deren spezifische Aktivität ganz zu erreichen. In Versuch I betrug die SA_{Schale} einige Tage vor dem Absetzen der radioaktiv markierten Ration 90 $\pm$ 3 % der SA_{Futter}. In Versuch II wurde die Ca^{45}-haltige Ration eine Woche länger, nämlich insgesamt 34 Tage verfüttert, wobei die SA_{Schale} vom 3o. bis 34. Tag mit 95 $\pm$ 3 % und einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $P < 0,1$ % etwas höher lag als zwischen dem 24. und 28. Tag.

Nach dem Absetzen der mit $Ca^{*} CO_3$ supplementierten Ration erfolgte ein rascher Abfall der SA_{Schale}, die in beiden Versuchen 12 Tage nach der Verfütterung der inaktiven Ration nur noch ca. 5 % des am Ende der Periode 1 gemessenen Betrages aufwies.

Abb.1 VERLAUF DER SPEZIFISCHEN AKTIVITÄT DES EISCHALEN-CALCIUMS BEI LEGEHENNEN WÄHREND UND NACH VERFÜTTERUNG EINER MIT CA^{45} MARKIERTEN DIÄT.

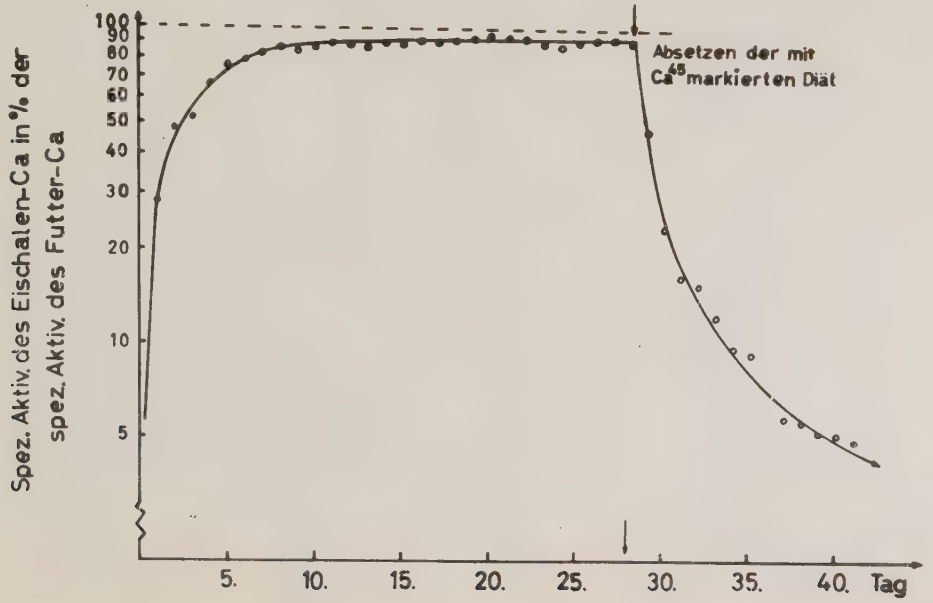
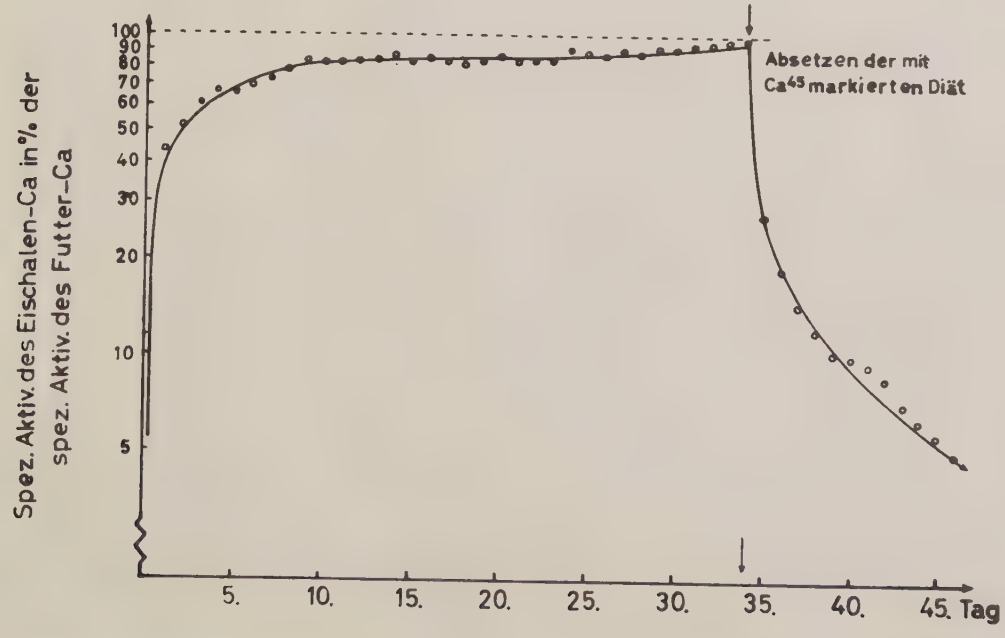


Abb.2 VERLAUF DER SPEZIFISCHEN AKTIVITÄT DES EISCHALEN-CALCIUMS BEI LEGEHENNEN WÄHREND UND NACH VERFÜTTERUNG EINER MIT Ca^{45} MARKIERTEN DIÄT.



B. Der Umfang des ausgetauschten Skelett-Calciums

Der Umfang des ausgetauschten Skelett-Calciums (U) ist aus den in Periode 1 erfaßten Versuchsdaten auf Grund folgender Überlegung zu berechnen:

Setzt man SA_{Futter} = 100 und drückt SA_{Schale} sowie SA_{Kot} in Periode 1 prozentual von SA_{Futter} aus, so stellen, da das Skelett vor Beginn des Versuchs kein Ca^{45} enthält, die Differenzen

$$SA_{Futter} - SA_{Schale} \quad \text{bzw.}$$
$$SA_{Futter} - SA_{Kot}$$

jeweils den prozentualen Anteil an nicht markiertem Skelett-Calcium in der Eischale bzw. im Kot dar. Hieraus ist bei Kenntnis des absoluten Ca-Gehalts der jeweiligen Eischale oder Kotprobe die endogene, nicht markierte, aus dem Skelett stammende Ca-Menge in ihrer absoluten Größe zu berechnen. Diese Menge ist als Mindestangabe des insgesamt in einem bestimmten Zeitraum aus dem Skelett mobilisierbaren Calciums anzusehen, da radioaktives Ca, das während dieser Zeit deponiert und wieder mobilisiert wurde, nicht erfaßt werden kann.

Beispiel:

SA_{Futter}	= 0,9670 $nCiCa^{45}$/mg Ca	= 100 %
SA_{Schale}	= 0,4352 $nCiCa^{45}$/mg Ca am ersten Tag nach Verfütterung der Ca^{45}-markierten Ration	= 45 %
Differenz=	Anteil an nicht markiertem Skelett-Ca in % des gesamten Eischalen-Ca	= 55 %

Bei einem Ca-Gehalt der Eischale von angenommen 2,0 g stammen in diesem Beispiel folglich 55 % von 2,00 g = 1,1 g aus nicht markiertem Depot-Calcium. Entsprechendes gilt für die im Kot erscheinende Menge an nicht markiertem Skelett-Calcium.

Umfang des in den ersten 10 Tagen der Periode 1 mobilisierten inaktiven Depot - Calciums

	Versuch I		Versuch II	
a = SA_{Futter} ($nCi\ Ca^{45}$/mg Ca)	0,9670	≙ 100,0 %	0,9670	≙ 100,0 %
b = SA_{Schale} ($nCi\ Ca^{45}$/mg Ca) vom 1.-10. Tag im Durchschnitt	0,6558	≙ 67,8 %	0,6463	≙ 66,8 %
a-b = durchschnittl. Anteil an nicht markiertem, mobilisierten Skelett - Ca in Prozent des gesamt. Schalen - Ca		≙ 32,2 %		≙ 33,2 %
c = durchschnittl. pro Tier vom 1.-10. Tag über die Eischalen ausgeschiedene Calcium - Menge [g]	15,12		14,84	
(a-b)c = durchschnittl. pro Tier vom 1.-10. Tag in den Eischalen ausgeschiedenes, nicht markiert. Depot-Ca [g]	4,87		4,92	
a = SA_{Futter} ($nCi\ Ca^{45}$/mg Ca)	0,9670	≙ 100,0 %	0, 9670	≙ 100,0 %
d = Sa_{Kot} ($nCi\ Ca^{45}$/mg Ca) vom 1.-10. Tag im Durchschnitt	0,8679	≙ 89,7 %	0,8889	≙ 91,9 %
a-d = durchschnittl. Anteil an nicht markiertem, mobilisierten Skelett - Ca in Prozent des gesamten Kot - Ca		≙ 10,3 %		≙ 8,1 %
f = durchschnittl. pro Tier vom 1.-10. Tag ausgesch. Ca-Menge im Kot [g]	11,73		12,66	
(a-d)f = durchschnittl. pro Tier vom 1.-10. Tag über den Kot ausgeschiedenes, nicht markiertes Depot-Ca [g]	1,21		1,03	
c(a-b)+f(a-d) = durchschn. pro Tier vom 1.-10. Tag in Kot und Eischalen ausgesch., nicht mark. Depot-Ca [g]	6,08		5,95	

Da inaktives, aus dem Skelett mobilisiertes Calcium etwa nach dem 10. Tag der Periode 1 nur noch in geringen Mengen in den Eischalen erscheint (siehe Abb. 1 und 2), ist zunächst der Umfang des in den ersten 10 Tagen ausgeschiedenen inaktiven Skelett-Calciums, wie vorangehend erläutert, an Hand der Meßdaten berechnet und die Ergebnisse in Tabelle 8 zusammengestellt worden. Während der ersten 10 Tage der Periode 1 wurden pro Tier durchschnittlich 15,12 g (Versuch I) bzw. 14,84 g Ca (Versuch II) mit den Eischalen ausgeschieden. Davon waren 32,2 % = 4,87 g bzw. 33,2 % = 4,92 g nichtmarkiertes, aus dem Skelett mobilisiertes Calcium. Im gleichen Zeitraum betrug der mit den Faeces exkretierte Anteil an nichtmarkiertem Depot-Calcium 10,3 bzw. 8,1 %, entsprechend 1,21 und 1,03 g Ca. Somit wurden vom 1. bis 10. Tag der Periode 1 pro Tier im ersten Versuch durchschnittlich 6,08 g und im zweiten Versuch 5,95 g nichtmarkiertes, aus dem Skelett mobilisiertes Calcium mit dem Kot und den Eischalen ausgeschieden.

Um über die Dynamik der Mobilisation von inaktivem Depot-Calcium in Periode 1 einen Anhaltspunkt zu bekommen, ist die durchschnittlich pro Tier und Tag ausgeschiedene, aus dem Skelett mobilisierte, inaktive Ca-Menge für jeden Tag einzeln auf die im obigen Beispiel angeführte Weise berechnet worden. Die erhaltenen Werte von Versuch I sind in Abbildung 3, von Versuch II in Abbildung 4 auf logarithmisch geteilter Ordinate in zeitlicher Abhängigkeit eingetragen. Aus dem annähernd kurvilinearen Verlauf dieser Darstellungen geht hervor, daß das mit dem Kot und den Eischalen exkretierte, aus dem Skelett stammende, inaktive Calcium nicht nur aus einem "compartment", sondern aus mindestens zwei unterschiedlich großen Fraktionen mit verschiedener Geschwindigkeit mobilisiert wurde.

CALCIUM-MOBILISATION IM SKELETT VON LEGEHENNEN.

Abb. 3

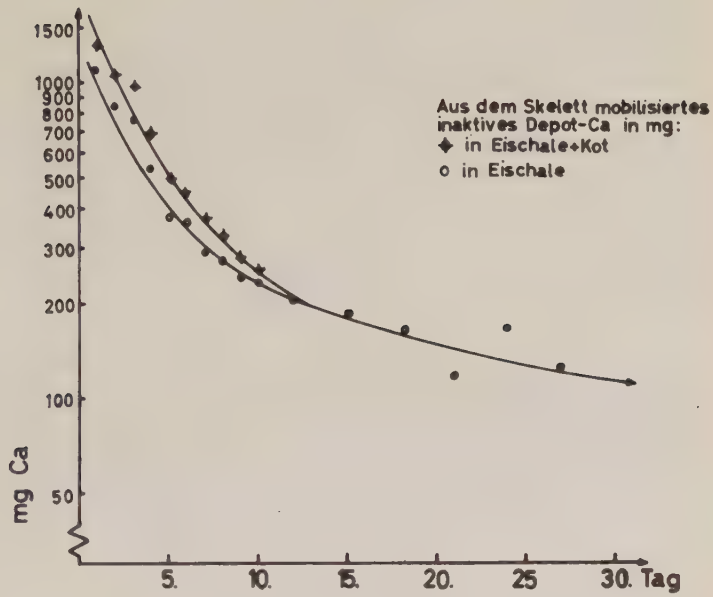
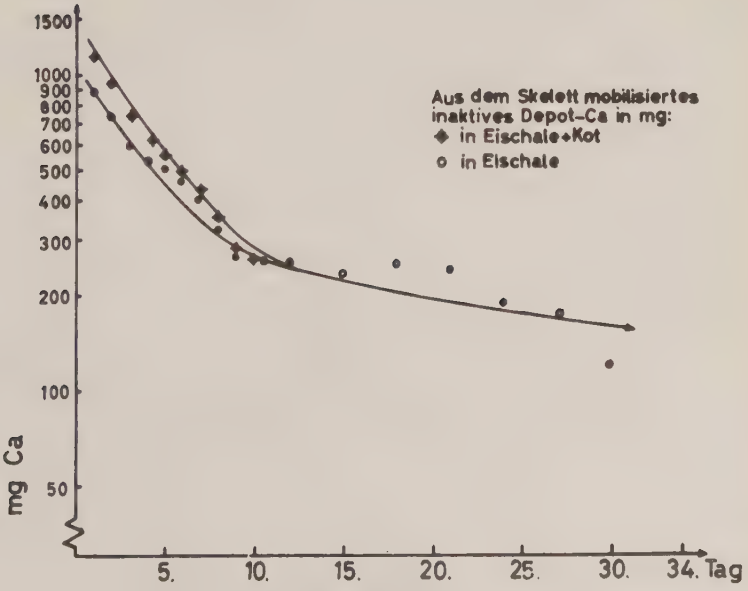


Abb. 4



Weiterhin ist aus diesen beiden Abbildungen ersichtlich, daß das über den Kot exkretierte, nicht markierte Depot-Calcium etwa bis zum 10. Tag an der Gesamt-Ausscheidung von mobilisiertem, inaktiven Skelett-Calcium einen ziemlich konstanten Anteil von etwa 10 % ausmacht, der nach diesem Zeitpunkt innerhalb des Schwankungsbereiches der in den Eischalen erscheinenden, inaktiven Ca-Mengen aus dem Skelett liegt und aus diesem Grunde nicht mehr berücksichtigt worden ist. Eine Aufgliederung des komplexen Ca-Mobilisationsgeschehens in seine Einzelkomponenten wurde in dieser Arbeit nicht vorgenommen.

Die Summierung der täglichen Exkretionsraten an mobilisiertem, nicht markierten Depot-Calcium vom 1. bis 28.Tag ergab in Versuch I insgesamt 8,4 g und im Versuch II 9,1 g Ca, so daß vom 10. bis 28. Tag im Versuch I noch 2,4 g und im Versuch II noch 3,2 g inaktives Skelett-Calcium mobilisiert und ausgeschieden wurden.

C. Das Ausmaß der endogenen Ca-Ausscheidung mit den Faeces und die aus der Nahrung resorbierte Ca-Menge

Der endogene Ca-Anteil im Kot wurde in Periode 2 nach dem Prinzip der dynamischen Isotopenverdünnungsmethode bestimmt, wobei die jeweilige spezifische Aktivität des Eischalencalciums als Bezugsgröße für die endogene Ca-Fraktion diente. Da in Periode 2 das Versuchsfutter kein Radio-Calcium enthielt, ist der endogene Ca-Anteil im Kot prozentual über den Quotienten

$$\frac{SA_{Kot} \text{ im Zeitabschnitt t}}{SA_{Schale} \text{ im Zeitabschnitt t}} \times 100$$

für die jeweilige Kotprobe zu berechnen. Bei Kenntnis des insgesamt mit den Faeces ausgeschiedenen Ca-Betrages, kann das endogene Kot-Ca auch in absoluter Größe angegeben werden. Für jene Zeiträume, in denen keine Eischalenmineralisation erfolgte, wurde eine SA-Schale aus den spezifischen Aktivitäten des Calciums der vorhergehend bzw. nachfolgend gelegten Eier interpoliert.

Wie bereits im Kapitel Methodik beschrieben, erfolgte die Entnahme von Kotproben in Periode 2 alle 12 Stunden unter Berücksichtigung des jeweiligen Stadiums der Eischalenmineralisation, so daß an Legetagen immer eine der beiden Kotproben der Phase der Eischalenverkalkung zuzuordnen war.

Die Berechnung des endogenen Kot-Ca an Legetagen für beide 12 - S t u n d e n - I n t e r v a l l e sei am Tier Nr. 3 aus Versuch I als Beispiel angeführt (Tabelle 9).

Wie den in Tabelle 9 zusammengestellten Daten zu entnehmen ist, scheint der prozentuale Anteil an endogenem Kot-Calcium vom jeweiligen Funktionszustand der Schalendrüse weitgehend unabhängig und mit ca. 25 - 30 % des gesamten Kot-Calciums ziemlich konstant zu sein. Hingegen unterscheiden sich die absoluten Mengen an endogenem Kot-Calcium in den Intervallen während und ohne Mineralisation einer Eischale beträchtlich.

Tabelle 9

Endogene Ca-Ausscheidung im Kot bei Tier Nr. 3 in Versuch I
an Legetagen unter Berücksichtigung des Funktionszustandes der Schalendrüse
(12-Stunden-Intervalle)

	X = SA-Kot		Y = SA-Schale		$\frac{x}{y}$ x 100		Ca-Ausscheidg. im Kot [g]		Endogen. Ca-Anteil im Kot [mg]	
Tag	+	-	+ gemessen	- interpoliert	+	-	+	-	+	-
1	0,0270		0,1397		19,3		0,384		74	
		0,0280		0,1281		21,90		0,870		190,0
2	0,0279		0,1165		24,00		0,265		64	
		0,0254		0,1009		25,20		0,794		200,0
3	0,0213		0,0852		25,00		0,323		81	
		0,0212		0,0842		25,20		0,633		159,0
4	0,0211		0,0832		25,40		0,327		83	
		0,0183		0,0773		23,70		0,853		202,0
5	0,0207		0,0468		44,20		0,255		113	
		0,0091		0,0468		19,40		0,789		153,0
6	0,0160		0,0468		34,20		0,319		109	
		0,0130		0,0449		28,90		0,827		239,0
7	0,0115		0,0430		26,70		0,330		88	
	Arithmetische Mittel				28,4	24,0	0,315	0,794	87,4	190,5
	Standardabweichung				±8,3	±3,2	±0,045	±0,026	±18	± 32

$\frac{x}{y}$ x 100 = endogenes Kot-Ca in % des gesamten Kot-Ca
\+ = 12-Stunden-Intervall während der Mineralisation der Eischale
\- = 12-Stunden-Intervall ohne Mineralisation einer Eischale

So wurden während der Phase der Eischalenverkalkung bei Tier Nr. 3 durchschnittlich 87,4 ± 18 mg und im Intervall ohne Schalenbildung 190,5 ± 32 mg endogenes Kot-Calcium ermittelt. Diese Differenz ließ sich nach Prüfung mit dem WILCOXON'schen Rangfolgentest (13) mit $P < 0{,}2\ \%$ statistisch gut sichern.

Die Ausscheidung endogenen Kot-Calciums an Legetagen ist entsprechend der soeben am Beispiel eines Einzeltieres demonstrierten Weise für sämtliche Tiere beider Versuchsgruppen berechnet worden; die dabei erhaltenen Gruppenmittelwerte sind in Tabelle 10 zusammengefaßt:

Tabelle 10

Durchschnittliche endogene Ca-Ausscheidung im Kot pro Tier an Legetagen unter Berücksichtigung des Funktionszustandes der Schalendrüse
(12-Stunden-Intervall)

	Versuch I				Versuch II			
	+	s	-	s	+	s	-	s
End.Kot-Ca in mg	101	±24	186	±26	142	±52	260	±93
End.Kot-Ca in % d.Gesamt-Ca-Ausscheidg.im Kot	28,0 ± 4,5		24,2 ± 4,8		26,5 ± 5,2		22,0 ± 6,7	

\+ = 12-Stunden-Intervall während d.Mineralisation d.Eischale
s = Standardabweichung der Einzeltiere vom Gruppenmittel
\- = 12-Stunden-Intervall ohne Eischalenmineralisation

Wie daraus hervorgeht, zeigt das endogene Kot-Calcium - ausgedrückt in Prozent des gesamten Kot-Calciums - zwischen den Intervallen mit und ohne Eischalenmineralisation in beiden Versuchen nur geringe Unterschiede, deren Größe

innerhalb der Standardabweichung liegt. Die absoluten Beträge an endogenem Kot-Calcium hingegen weisen eine deutliche Abhängigkeit vom jeweiligen Funktionszustand der Schalendrüse auf:
Während der Phase der Eischalenmineralisation wurden 101 ± 24 mg (Versuch I) bzw. 142 ± 52 mg (Versuch II) endogenes Ca mit dem Kot ausgeschieden gegenüber 186 ± 26 bzw. 260 ± 93 mg im Zeitabschnitt ohne Eischalenverkalkung. Diese Differenzen waren nach dem WILCOXON'schen Test mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $P < 0{,}2\ \%$ in beiden Versuchen statistisch gut gesichert. Die Differenzen zwischen den beiden Gruppen erwiesen sich jedoch als nicht signifikant.

Zur Ermittlung der endogenen Ca-Ausscheidung im Kot an Legetagen und an Tagen ohne Eiablage (24 - S t u n d e n - I n t e r v a l l) wurden jeweils die Meßwerte zweier aufeinanderfolgender 12-Stunden-Intervalle der einzelnen Tiere in beiden Versuchen über die Dauer der Periode 2 zusammengefaßt. Als Beispiel wurden die Meßdaten und Ergebnisse von Tier 2, Versuch II über die Ca-Ausscheidung an Lege- und Nichtlegetagen gewählt und in Tabelle 11 zusammengestellt. Dieses Tier legte an 4 von 11 Tagen keine Eier.

Die Werte in Tabelle 11 zeigen, daß bei Zugrundelegung eines 24-Stunden-Intervalls als Zeiteinheit von diesem Tier an Legetagen durchschnittlich 373 ± 52 mg und an Nichtlegetagen 450 ± 26 mg endogenes Calcium mit dem Kot zur Ausscheidung kamen.

Tabelle 11

Endogene Ca-Ausscheidung im Kot bei Tier Nr. 2 in Versuch II
an Lege- und Nichtlegetagen (24-Stunden-Intervalle)

	X = SA-Kot		Y = SA-Schale		$\frac{x}{y}$ x 100		Ca-Ausscheidg. im Kot [g]		Endogen. Ca-Anteil im Kot [mg]	
Tag	+	-	+ gemessen	- interpoliert	+	-	+	-	+	-
1		0,0450		0,1527		29,5		1,90		561,0
2	0,0285		0,1377		20,7		1,91		395	
3	0,0206		0,1245		16,6		2,03		337	
4		0,0185		0,0977		18,9		2,40		453,0
5	0,0155		0,0710		21,8		1,87		408	
6	0,0162		0,0955		17,0		2,26		384	
7		0,0180		0,0816		22,0		1,77		389,0
8	0,0125		0,6780		18,4		2,44		450	
9	0,0194		0,0930		20,9		1,87		348	
10	0,0114		0,0875		13,1		2,22		291	
11		0,0125		0,0875		14,4		2,68		396,0
	Arithmetische Mittel				18,36	21,1	2,06	2,19	373	450,0
	Standardabweichung				±3,3	±6,3	±0,26	±0,26	±52	±26

x = gemittelte spez. Aktivitäten des Kot-Ca aus 2 zusammengezogenen aufeinanderfolgenden 12-Stunden-Kotproben

$\frac{x}{y}$ x 100 = endogenes Kot-Ca in % des gesamten Kot-Ca

\+ = 24-Stunden-Intervall mit Eiablage

\- = 24-Stunden-Intervall ohne Eiablage

Die auf obige Weise berechneten Werte für die endogene Ca-Ausscheidung im Kot an Lege- und Nichtlegetagen sind von allen Tieren jeder Versuchsgruppe gemittelt in Tabelle 12 aufgeführt. Im Durchschnitt waren pro Tier an Legetagen im Versuch I 302 ± 83 mg und an Nichtlegetagen 321 ± 91 mg Ca im Kot endogener Herkunft; die entsprechenden Werte im Versuch II betrugen 377 ± 131 mg bzw. 488 ± 215 mg Ca. Am gesamten Kot-Ca gemessen sind diese im Versuch I an Legetagen 28,6 ± 8 % und an Nichtlegetagen 27,8 ± 7,2 % und im Versuch II 26,6 ± 9,3 % bzw. 28,8 ± 8,9 %. Die Unterschiede zwischen Lege- und Nichtlegetagen (24-Stunden-Intervalle) waren statistisch nicht zu sichern. Dagegen besteht für die Differenzen der absoluten Mengen an endogenem Ca im Kot im Gruppenvergleich an Legetagen eine Signifikanz von $P < 1$ % und an Nichtlegetagen von $P < 2$ % .

Die Berechnung des tatsächlich resorbierten Nahrungs-Calciums erfolgte nach der Beziehung $r = a - (b - c)$, wobei

r = tägl. resorbiertes Nahrungscalcium in g
a = tägl. Einnahme an Gesamt-Ca in g
b = tägl. Ausscheidung an Gesamt-Ca im Kot in g und
c = tägl. Ausscheidung an endogenem Kot-Ca in g

bedeuten.

Das durchschnittlich pro Tier in 24 Stunden resorbierte Nahrungscalcium wurde für beide Versuche aus den jeweiligen Tageswerten der Einzeltiere in der Periode 2 berechnet und zusammen mit anderen Daten und deren Standardabweichung in Tabelle 12 zusammengestellt, wobei Lege- und Nichtlegetage gesondert aufgeführt sind. Aus Tabelle 12 geht hervor, daß die im Versuch I verwendeten 10 Monate alten Tiere an Legetagen durchschnittlich 3,22 ± 0,49 g und an Nichtlegetagen 3,13 ± 0,46 g Ca mit der

Nahrung eingenommen haben; hiervon wurden an Legetagen im Durchschnitt 75,0 ± 7,9 % = 2,42 ± 0,46 g Ca und an Nichtlegetagen 69,3 ± 13,8 % = 2,14 ± 0,53 g Ca resorbiert. Die Differenz zwischen Ca-Einnahme und Ca-Ausscheidung im Kot ergab eine Ca-Retention von 2,1 ± 0,44 g Ca an Legetagen und von 1,95 ± 0,39 g Ca an Nichtlegetagen. Diese gefundenen Differenzen ließen sich statistisch nicht sichern.

Im Versuch II, der mit 24 Monate alten Tieren durchgeführt wurde, sind folgende Daten ermittelt worden: bei einer durchschnittlichen Ca-Einnahme von 3,89 ± 0,74 g an Legetagen bzw. 3,65 ± 0,64 g an Tagen ohne Eiablage kamen im Durchschnitt 69,4 ± 10 % = 2,73 ± 0,62 g Ca bzw. 60,4 ± 13,0 % = 2,22 ± 0,63 g Ca zur Resorption. Die Ca-Retention betrug an Legetagen durchschnittlich 60,5 ± 10,8 % = 2,35 ± 0,58 g Ca und an Nichtlegetagen 48,1 ± 14,0 % = 1,73 ± 0,63 g Ca. Die Unterschiede in der Resorption und Retention von Ca - absolut und in % des Ca-Einnahme - zwischen Lege- und Nichtlegetagen sind bei dieser Tiergruppe hinsichtlich der Ca-Resorption mit $P < 2$ % gesichert und in der Ca-Retention mit $P < 1$ % gut gesichert.

Die Unterschiede zwischen den beiden Versuchstiergruppen in der Ca-Resorption und Ca-Retention waren an Legetagen hinsichtlich der Ca-Retention mit $P < 5$ % signifikant. Die Ca-Retention in % der Ca-Einnahme erwies sich im Gruppenvergleich sowohl an Lege- als auch an Nichtlegetagen mit $P < 1$ % als gut gesichert. Die Differenzen der Ca-Resorption - absolut und in Prozent der Ca-Einnahme - wiesen zwischen den Gruppen nur an Legetagen eine statistische Sicherheit von $P < 2$ % auf.

Tabelle 12

Resorption, Retention und Exkretion von Ca bei Legehennen

	Versuch I				Versuch II			
	Legetage		Nicht-legetage		Legetage		Nicht-legetage	
	Ø	s	Ø	s	Ø	s	Ø	s
a = Ca-Einnahme in g	3,22±0,49		3,13±0,46		3,89±0,74		3,65±0,64	
b = Ca-Ausscheidung im Kot in g	1,12±0,30		1,31±0,49		1,54±0,51		1,92±0,57	
a - b = Ca-Retention in g	2,10±0,44		1,95±0,39		2,35±0,58		1,73±0,63	
$\frac{a-b}{a} \times 100$ = Ca-Retention in % der Ca-Einnahme	65,8±8,8		62,2±8,8		60,5±10,8		48,1±14,0	
c = endogenes Kot-Ca in mg	302± 83		321± 91		377 ± 131		488 ± 215	
$\frac{c}{b} \times 100$ = endogenes Kot-Ca in % der Ca-Ausscheidung	28,6±8,1		27,8±7,2		26,6± 9,3		25,8± 8,9	
a - b + c = Ca-Resorption in g	2,42±0,46		2,18±0,53		2,73±0,62		2,22±0,63	
$\frac{a-b+c}{a} \times 100$ in % der Einnahme von Ca	75,0± 7,9		69,3±13,8		69,4±10,0		60,4±13,0	

Ø = Gruppendurchschnitt aus den täglichen Meßdaten am Einzeltier

s = Standardabweichung der Einzelbestimmungen vom Gruppendurchschnitt

D. Die Ca^{45}-Bilanz über den gesamten Versuchszeitraum

Um über den Verbleib des in Periode 1 aufgenommenen Radio-Calciums eine Aussage machen zu können, wurde bei sämtlichen Legehennen eine Ca^{45}-Bilanz über den gesamten Versuchszeitraum aufgestellt. Die durchschnittlichen Ca^{45}-Bilanzdaten sind absolut und relativ für die Tiere des ersten und zweiten Versuchs gesondert in Tabelle 13 aufgeführt. Aus dieser Übersicht geht hervor, daß vom eingenommenen Radio-Calcium in den Ausscheidungen und im Skelett der Tiere des ersten Versuchs insgesamt 92,0 ± 3,5 % wiedergefunden wurden. Im zweiten Versuch betrug der Anteil an insgesamt wiedergefundenem Ca^{45} 89,6 ± 1,9 % der Ca^{45}-Einnahme.

Tabelle 13

Radiocalcium - Bilanz im Durchschnitt über den ganzen Versuchszeitraum

	Versuch I		Versuch II	
	nCi Ca^{45} pro mg Ca	in % der Ca^{45} Einnahme	nCi Ca^{45} pro mg Ca	in % der Ca^{45}-Einnahme
Ca^{45}-Einnahme	74 491	100,0	90 971	100,0
Ca^{45}-Ausscheidung: im Kot-Ca	38 056	51,0	44 420	48,8
im Eischalen-Ca	29 467	39,4	34 765	38,2
Ca^{45}-Summe der Ausscheidung in Kot- u. Eischalen-Ca	67 523	90,4	79 185	87,0
Ca^{45}-Gehalt im Skelett nach Versuchsende	1 339	1,6	2 255	2,6
Ca^{45}-insgesamt wiedererfaßt	68 862	92,0	81 440	89,6

E. Angaben über die Legeleistung der Versuchstiere während des Experiments

Die Legeleistung der Versuchstiere ist für Periode 1 und 2 gesondert in Tabelle 14 angegeben. Danach legten im Versuch I während der ersten Periode nur 4 von 6 Tieren regelmäßig, während in Periode 2 alle 6 Tiere eine weitgehend einheitliche Legeleistung zwischen 77 und 100 % aufwiesen. Im Versuch II blieb nur Tier Nr. 4 in der 1. Periode wegen vorübergehender Verdauungsstörungen mit der Legeleistung gegenüber den anderen Tieren der Gruppe stark zurück. Hingegen war die Eierlegeleistung in der zweiten Periode bei allen Tieren der Gruppe gut und schwankte zwischen 70 und 100 %.

Im Durchschnitt der Gruppen betrug die Legeleistung in der Periode 2 bei den 10 Monate alten Hennen der Versuchsgruppe
I 87,2 % und 80,3 % bei den zweijährigen Hühnern der Versuchsgruppe II. Der Gesamt-Ca-Gehalt der Ration war in beiden Fällen auf 3,0 % eingestellt. Der durchschnittliche Ca-Gehalt der Eischalen aller während des ganzen Versuchszeitraumes angefallenen Eier ergab in beiden Versuchen 2,01 g.

Tabelle 14

Legeleistung der Versuchstiere in Periode 1 und 2

	Versuch I						Versuch II					
	Periode 1			Periode 2			Periode 1			Periode 2		
Tier Nr.	Stück Eier	Tage	Legelstg. i. %	Stück Eier	Tage	Legelstg. i. %	Stück Eier	Tage	Legelstg. i. %	Stück Eier	Tage	Legelstg. i. %
1	4	28	14,3	11	13	84,6	28	34	82,4	11	12	91,7
2	22	"	80,0	13	"	100,0	22	"	64,7	8	"	66,7
3	23	"	82,1	10	"	77,0	26	"	76,5	9	"	75,0
4	20	"	71,4	10	"	77,0	6	30	20,0	7	10	70,0
5	7	"	25,0	11	"	84,6	24	"	80,0	8	"	80,0
6	25	"	90,0	13	"	100,0	22	"	73,3	10	"	100,0
	101	168	60,1*	68	78	87,2*	128	192	66,7*	53	66	80,3*

* = durchschnittliche Legeleistung der Gruppe in Prozent

V. DISKUSSION

In der vorliegenden Arbeit waren der Einbau von Ca^{45}-markiertem Nahrungscalcium in die Eischale, die Mobilisation von inaktivem Skelettcalcium sowie der Ca-Resorptionskoeffizient bei Legehennen verschiedenen Alters zu bestimmen. Hierzu wurde an je 6 Legehennen im Alter von 10 Monaten bzw. 2 Jahren ein Fütterungsversuch in zwei Perioden durchgeführt. Allen Tieren wurde eine Ca-arme (0,23 % Ca), sonst jedoch alle Nähr-Mineral- und Wirkstoffe in optimalen Mengen enthaltende Ration verabreicht, die in Periode 1 mit Ca^{45}-markiertem Calciumcarbonat ($Ca^{*}CO_3$) und in Periode 2 mit der gleichen Menge inaktivem Calciumcarbonat ($CaCO_3$) auf einen Gesamt-Ca-Gehalt von 3,0 % gebracht worden war. Somit lagen 90 % des Nahrungscalciums in Form von Ca^{45}-markiertem (Periode 1) bzw. inaktivem (Periode 2) Calciumcarbonat vor.

Über die Beziehung zwischen SA_{Futter}, SA_{Schale} und $SA_{Skelett}$ in Periode 1

Das Anwachsen der spezifischen Aktivität des Eischalencalciums während der ersten Periode ist als Indikator für die Ca-Austauschvorgänge im Skelett anzusehen: inaktives, zur Calcifizierung von Eischalen mobilisiertes Depot-Calcium wird allmählich durch radioaktiv markiertes, resorbiertes Nahrungscalcium ersetzt. Ist dieser Austauschprozeß abgeschlossen, so müssen die spezifischen Aktivitäten des Nahrungscalciums und des Eischalencalciums gleich groß sein.

Betrachtet man den in Abb. 1 und 2 gezeichneten Verlauf der spezifischen Aktivitäten des Eischalen-Calciums in Periode 1, so zeigt sich ein mit den Befunden anderer Autoren (10, 11, 12) gut übereinstimmender, rascher Anstieg in den ersten Tagen. Während nach den Ergebnissen von MUELLER und Mitarb. (12) etwa ab dem 16. Tag nach Verfütte-

rung einer mit $Ca^{45}Cl_2$ markierten Ration, die 2,5 % Knochenfuttermehl enthielt, SA_{Schale} und SA_{Futter} gleiche Größe aufwiesen, wurde bei den von uns angestellten Versuchen die spezifische Aktivität des Nahrungscalciums im Eischalencalcium selbst nach 28- bzw. 34-tägiger Fütterung mit Ca^{45}-markierter Diät nur zu etwa 90 % erreicht.

Auf diese Diskrepanz, die durch Unterschiede der jeweils verwendeten Legerassen und verschiedene Ca-Gehalte in den Versuchsrationen allein nicht zu begründen ist, geben die von HURWITZ (10) erhobenen Befunde einen Hinweis. Dieser ermittelte bei Legehennen nach Verfütterung einer mit Calciumcarbonat und Calciumphosphat supplementierten, jedoch mit $Ca^{45}Cl_2$ markierten Diät etwa vom 20. Tage ab eine im Vergleich zur SA_{Futter} um 25 % höhere SA_{Schale}. Aus diesem Grund ist zu folgern, daß radioaktiv markiertes Calcium in Form von $Ca^{45}Cl_2$ offensichtlich zu einem höheren Prozentsatz resorbiert wurde als das inaktive Calcium aus Calciumcarbonat und -phosphat. Die spezifische Aktivität des resorbierten Calciums und damit SA_{Schale} bzw. $SA_{Skelett}$ ist demzufolge von einem bestimmten Zeitpunkt ab größer als SA_{Futter}. Liegt radioaktiv markiertes Calcium im Futter in einer anderen chemischen Form vor als das übrige Nahrungscalcium, so kann wegen der unterschiedlichen Resorbierbarkeit verschiedener Ca-Salze bei Untersuchungen über den Einbau von Nahrungscalcium in das Skelett bzw. in die Eischale SA_{Futter} und SA_{Schale} bzw. $SA_{Skelett}$ nicht ohne weiteres miteinander in Beziehung gesetzt werden.

Wie bereits erwähnt, erhielten die Tiere beider Versuchsgruppen während der ersten Periode das in einer Menge von 30 000 ppm in der Ration vorliegende Calcium zu 90 % als Ca^*CO_3 und die restlichen 10 % in Form von nicht markiertem Calcium vegetabilen Ursprungs. Auf Grund der oben angestellten Überlegungen wäre es theoretisch möglich, daß das aus der Grunddiät stammende, inaktive Calcium besser resorbiert wird als das radioaktiv markierte Calcium aus Ca^*CO_3;

die spezifische Aktivität des resorbierten Calciums wäre somit niedriger als SA_{Futter}, und SA_{Schale} könnte folglich nie die Größe von SA_{Futter} erreichen.

Obgleich diese Möglichkeit nicht mit Sicherheit auszuschließen ist, kommt ihr nach bisherigen Anschauungen über die Verwertbarkeit von Calcium pflanzlicher Herkunft nur geringe Wahrscheinlichkeit zu. Einem anderen, technischen Umstand ist jedoch noch Beachtung zu schenken: durch physikalische Unterschiede wie Partikelgröße etc. zwischen Calciumcarbonat und den übrigen Rationsbestandteilen sind beim Hantieren mit dem Futter Entmischungsvorgänge denkbar, die zu einer Änderung der anfänglich in der Ration analysierten SA_{Futter} wie auch zu einer Verfälschung der über den Futterverzehr festgestellten Ca-Einnahme führen. Eine laufende Überprüfung der SA_{Futter} ist in diesen Versuchen unterblieben; dagegen wurde die täglich verabreichte Futtermenge jeweils mit Wasser zu einer feucht-krümeligen Mischung angerührt, um einer Entmischung der Ration in den Futtergefäßen durch die Pickbewegungen der Tiere vorzubeugen. Zur Ausschaltung der eben diskutierten Fehlerquellen ist bei derartigen Versuchen künftig folgendes anzustreben:

1. Die radioaktive Markierung der Ca-Komponente einer Ration hat in derselben chemischen Form zu erfolgen, in der das Nahrungscalcium vorliegt. Eine notwendige Voraussetzung hierzu ist eine möglichst Ca-arme, besser Ca-freie Grundration, die mit den jeweils in der Geflügelernährung üblichen und am Ca-Atom markierten Calciumverbindungen zu supplementieren ist.

2. Werden die Ca^*-Supplemente in die Ration eingemischt, so wäre die Pelletierung des Versuchsfutters wegen eventueller Entmischungsvorgänge von Vorteil gegenüber der Verabreichung mehlförmiger Rationen. Ist eine genaue, konstante oder variable Dosierung oral zu applizierender Ca - Verbindungen erforderlich, so könnte die Eingabe von Ca^*-Salzen ein- oder mehrmals täglich mittels Gelatine-Kapseln vorgenommen werden.

Zur Mobilisation des inaktiven Skelett-Calciums

Aus der Differenz der relativierten, spez.Aktivitäten des Nahrungscalciums und des Eischalen- bzw. Kot-Calciums ist der Umfang des exkretierten, mobilisierten, inaktiven Skelett-Calciums in Periode 1 berechnet worden. Wie aus Tab.8 hervorgeht, wurden vom 1. bis 10. Tag über die Faeces und über die Eischalen im ersten Versuch durchschnittlich 6,08 und im zweiten Versucn 5,95 g inaktives, mobilisiertes Depot-Calcium ausgeschieden. MUELLER und Mitarb. (12) ermittelten in ihren Versuchen mit Hilfe eines anderen Berechnungsverfahrens aus den Bilanzdaten der Periode 2 und dem Verlauf der SA_{Schale} in Periode 1 den Gehalt an austauschbarem Calcium im Skelett (U) für t = 16 Tage mit 4,31 g nach der Beziehung:

$$U = \frac{U^{*}_{equ.}}{SA_{Futter}} \quad \text{(s.Gleichung 4b Seite 7 sowie Tab.2 Seite 8)}$$

Trotz der bereits erwähnten Unsicherheit hinsichtlich des Bezugssystems SA_{Futter} und Unterschieden im Tiermaterial wie im Ca-Gehalt der Versuchsrationen stimmen diese Werte relativ gut überein mit den eigenen Ergebnissen. Eine Berechnung von U nach der Beziehung (4b) wurde, obgleich hier Ca^{45}-Bilanzdaten für diesen Zeitraum vorlagen, von uns nicht vorgenommen, da die Bedingungen für die Gültigkeit dieser Gleichung ($SA_{Futter}=SA_{Schale}$) nicht erfüllt waren.

Weiterhin wurde versucht, anhand der Ca-Mobilisierungsraten, d.h. der je 24 Stunden aus dem Skelett mobilisierten Ca-Menge, einen Anhaltspunkt über die Dynamik des Austausches von nicht markiertem Depot-Calcium zu bekommen. Die in Abb.3 und 4 aufgetragenen, täglich mobilisierten, inaktiven Ca-Mengen, die über die Eischale und den Kot zur Ausscheidung kamen, lassen erkennen, daß die Mobilisation von Skelett-Calcium aus mindestens zwei unterschiedlichen Fraktionen mit verschiedener Geschwindigkeit erfolgt. Eine Zerlegung des komplexen Mobilisationsgeschehens in seine Einzelkomponenten ist in dieser Arbeit unterblieben.

Während nach den Ergebnissen von MUELLER und Mitarb. (12) eine eingliedrige Exponentialfunktion genügte, die Ca^*-Akkumulation im Skelett zu beschreiben, wurde zur Veranschaulichung der Mobilisation von Radio-Calcium aus dem Skelett in Periode 2 eine zweigliedrige Exponentialfunktion benötigt (s.Gleichung 7 S.8). Demnach nahm die schnell mobilisierbare Ca-Fraktion in Höhe von 1,87 g mit einer Halbwertszeit (HWZ) von 2,4 Tagen bzw. das langsam austauschbare Skelett-Calcium in Höhe von 2,55 g mit einer HWZ von 8,7 Tagen ab.

Zur endogenen Ca-Ausscheidung mit den Faeces

Aus den gemessenen spez. Aktivitäten des Eischalen- und des Kot-Calciums ist in Periode 2 das jeweils mit dem Kot exkretierte, endogene Calcium nach dem Prinzip der Isotopenverdünnung über den Quotienten

$$\frac{SA_{Kot} \text{ im Zeitabschnitt } t}{SA_{Schale} \text{ im Zeitabschn.} t}$$

berechnet worden. Entsprechend der Aufgabenstellung war das endogene Kot-Calcium in Abhängigkeit vom jeweiligen Funktionszustand der Schalendrüse zu ermitteln. Aus diesem Grunde ist der Kot in 12-Stunden-Intervallen gesammelt worden, die dem Rhythmus der Eischalenmineralisation entsprachen, so daß an Legetagen immer eine der beiden Kotproben der Phase der Eischalenverkalkung zugeordnet werden konnte. Für die Zeiträume, in denen keine Eischalenverkalkung stattfand, wurden die spezifischen Aktivitäten des Eischalen-Calciums aus den Werten der vorher bzw. nachher abgelegten Eier interpoliert.

Die in Tabelle 10 zusammengestellten, durchschnittlichen Ausscheidungen an endogenem Ca im Kot - ausgedrückt in Prozent des gesamten Kot-Ca - lassen nur geringfügige Unterschiede zwischen den 12-Std.-Intervallen mit und ohne Eischalenmineralisation erkennen, während die absoluten Beträge in beiden Versuchen eine gesicherte Abhängigkeit ($P < 0{,}2$ %) vom jeweiligen Funktionszustand der Schalendrüse

aufweisen. Während der Phase der Eischalenmineralisation sind im Versuch I durchschnittlich 85 mg und im Versuch II 118 mg endogenes Ca weniger im Kot exkretiert worden als im 12-S t u n d e n - I n t e r v a l l ohne Eischalenverkalkung, in deren Verlauf 186 ± 26 bzw. 260 ± 93 mg endogenes Kot-Ca zur Ausscheidung kamen. Die Grenzdifferenz für die Signifikanzschwelle P = 0,1 % betrug im Versuch I 66 mg und im Versuch II für P = 2 % 117 mg Ca zwischen den Phasen mit und ohne Eischalenverkalkung. Die Differenz zwischen beiden Versuchsgruppen in den entsprechenden 12-Stunden-Intervallen war wegen der um das Mehrfache größeren Varianz bei den älteren Legehennen statistisch nicht zu sichern.

Darüber hinaus ist die Ausscheidung an endogenem Kot-Calcium an Lege- und Nicht-Legetagen unter Zugrundelegung von 24 - S t u n d e n - I n t e r v a l l e n berechnet worden. Hierzu ist zu bemerken, daß auf Grund der täglichen Verschiebung des Legezeitpunktes den in Tabelle 12 aufgeführten 24-Stundenwerten von Legetagen nicht die entsprechende Anzahl an 12-Stunden-Einzelwerten in Tabelle 10 gegenübersteht. Die Summe der beiden in Tabelle 10 angegebenen 12-Stundenwerte kann somit nicht genau mit der in Tabelle 12 für Legetage vermerkten Menge an endogenem Kot-Calcium übereinstimmen. Die 24-Stundenwerte von Nicht-Legetagen repräsentieren Werte, die nicht mit jenen der 12-Stunden-Intervalle eines Legetages ohne Schalenmineralisation identisch sind und daher auch nicht durch Verdoppelung von diesen erhalten wurden. (Siehe Seite 17, Definition des Nichtlegetages).

Vergleicht man die endogene Ca-Ausscheidung mit dem Kot an Lege- und Nicht-Legetagen (Tabelle 12), so ergeben sich in den vorliegenden Versuchen keine statistisch gesicherten Unterschiede. Dies steht nicht in Übereinstimmung mit den Befunden von MUELLER und Mitarb. (12), die an Legetagen durchschnittlich 0,16 und an Tagen ohne Eiablage eine signifikant größere Menge, nämlich 0,28 g endogenes Kot-Calcium ermittelten.

Offensichtlich reichte die geringe Anzahl an Nichtlegetagen in unseren Versuchen nicht aus, die für 12-stündige Intervalle signifikante Abhängigkeit der endogenen Ca-Exkretion im Kot vom Funktionszustand der Schalendrüse auch für den Zeitraum von 24 Stunden nachzuweisen. Da die Mineralisation der Eischalenmatrix etwa 12 - 16 Stunden dauert, ist ohnehin anzunehmen, daß eine derartige Abhängigkeit der endogenen Ca-Ausscheidung mit dem Kot sich in 12-stündigen Intervallen eher bemerkbar macht als in Zeiträumen von 24 Stunden.

Auch bezüglich der absoluten Mengen an endogenem Kot-Calcium bestehen zwischen den von uns und anderen Autoren ermittelten Daten nicht unbeträchtliche Unterschiede, die sich jedoch mit unterschiedlichen Ca-Einnahmen erklären lassen, was aus nachstehender Übersicht (Tabelle 15) hervorgeht:

Tabelle 15

Angaben verschiedener Autoren über die tägliche Ausscheidung an endogenem Calcium im Kot bei Legehennen

Autor	Tägliche Ca-Einnahme (g)	Tägl. Aussch. an endog. Ca im Kot(Kot+Harn) an Legetagen (g)	Anzahl der Versuchstiere
MUELLER und Mitarb. (12)	2,32	0,16	24
BROWN und Mitarb. (2)	2,47	0,14±0,02	3
Eigene Versuche:			
Versuch I	3,22	0,302 ± 0,083	6
Versuch II	3,89	0,377 ± 0,140	6

Zur Resorption und Retention von Nahrungs-Calcium

Auch bei der Besprechung bisher ermittelter Ca-Resorptions- und -Retentionsdaten ist die jeweilige Einnahme von Nahrungs-Calcium zu berücksichtigen. Bei einer Ca-Aufnahme der 10 Monate alten Tiere von durchschnittlich 3,22 ± 0,49 g an Legetagen wurden 2,42 ± 0,46 g Ca = 75,0 ± 7,9 % resorbiert. Die 2 jährigen Legehennen nahmen an Legetagen durchschnittlich

3,89 ± 0,74 g Ca auf und resorbierten davon
2,73 ± 0,63 g = 69,40 ± 10 % (s.Tabelle 12).

MUELLER und Mitarb. (12) ermittelten bei 24 Leghorn-Hennen, die täglich 2,32 g Ca mit der Nahrung aufgenommen hatten, einen Ca-Resorptionskoeffizienten von 78; dies entspricht einer täglichen Resorptionsrate von 1,81 g Ca pro Tier an Legetagen (s.Tabelle 2).

Eine Gegenüberstellung dieser Werte zeigt, daß die Ca-Resorption innerhalb des hier zur Diskussion stehenden Bereichs von der Ca-Zufuhr abzuhängen scheint, wobei die absolut resorbierte Ca-Menge mit höheren Ca-Einnahmen steigt, während der Ca-Resorptionskoeffizient ein umgekehrtes Verhalten zeigt. Entsprechendes gilt für einen Vergleich der Ca-Retention der angeführten Versuche. Weiterhin geht aus diesen Befunden hervor, daß dem Ca- Resorptions- und -Retentions-Koeffizienten ohne gleichzeitige Angabe der jeweiligen Ca-Einnahme keine große Aussage über die Ca-Resorption und -Retention zukommt.

Die vorliegenden Untersuchungen haben gezeigt, daß durch die Differenzierung endogener und exogener Ca-Anteile in den Ausscheidungen von Legehennen unter Verwendung des radioaktiven Isotops Ca^{45}, Resorptions- und Einbau-Prozesse von Nahrungs-Calcium sowie die Mobilisation von Depot-Calcium quantitativ zu erfassen sind.
Um weitere, verallgemeinerungsfähige Daten über die komplexen Vorgänge des Ca-Umsatzes bei Legehennen zu erhalten, ist allerdings eine Reihe zusätzlicher Experimente unter Beobachtung der in diesem Abschnitt diskutierten Gesichtspunkte erforderlich.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

1. An je 6 HNL - Legehennen im Alter von 10 Monaten (Versuch I) bzw. 2 Jahren (Versuch II) wurde ein Fütterungsexperiment in 2 Perioden durchgeführt:
Allen Versuchstieren wurde eine Ca-arme (0,23 % Ca), sonst jedoch optimal zusammengesetzte Ration verabreicht, die in Periode 1 mit Ca^{45} markiertem Calciumcarbonat und in Periode 2 mit der gleichen Menge inaktivem $CaCO_3$ auf einen Gesamt-Ca-Gehalt von 3,0 % gebracht worden ist.

2. Auf Grund der analytisch bestimmten spezifischen Aktivitäten des Nahrungs-, des Eischalen- und des Kot-Calciums wurden in Periode 1 der Einbau von markiertem Nahrungs-Calcium in die Eischale bzw. in das Skelett sowie die mit den Eischalen und mit dem Kot exkretierten Mengen an mobilisiertem, inaktiven Depot-Calcium berechnet, während in Periode 2 das endogene Kot-Calcium und der Ca-Resorptionskoeffizient nach der Isotopenverdünnungsmethode ermittelt worden sind.

3. Nach 10 tägiger Fütterung der Ca^{45}-markierten Ration betrug die SA_{Schale} in Versuch I durchschnittl. 87,7 ± 1,3 %
und " in Versuch II " 84,0 ± 1,0 %
der SA_{Futter}. Auch am Ende der ersten Periode waren SA_{Schale} und SA_{Futter} in keinem der beiden Versuche gleich groß, woraus mit gewissen Einschränkungen ein noch nicht abgeschlossener Ersatz des austauschbaren Skelett-Ca durch Nahrungs-Ca abgelesen werden könnte. Die Voraussetzungen für einen Vergleich von SA_{Futter} und SA_{Schale} bei Untersuchungen der Ca-Mobilisation werden diskutiert.

4. Während der ersten 10 Tage der Periode 1 wurden mit den Eischalen und mit dem Kot zusammen durchschnittlich
6,08 g (Versuch I)
bzw. 5,95 g (Versuch II) aus dem Skelett mobilisiertes, inaktives Calcium ausgeschieden;

vom 10. bis 28. Tag erschienen in den Eischalen weitere
2,32 g (Versuch I)
bzw. 3,15 g (Versuch II) mobilisiertes, inaktives Depot-Calcium. Diese Mengen stellen Mindestwerte des insgesamt in diesem Zeitraum mobilisierbaren Skelett-Calciums dar, da hierin die ausgetauschten, radioaktiven Ca-Anteile nicht enthalten sind.

5. Das über den Quotienten $\frac{SA_{Kot(t)}}{SA_{Schale(t)}}$ in Periode 2 berechnete endogene Kot-Calcium betrug an Legetagen im 12 - S t u n d e n - I n t e r v a l l mit Eischalenverkalkung durchschnittlich
101 ± 24 mg (Versuch I)
bzw. 142 ± 52 mg (Versuch II) und im 12-Stunden-Intervall ohne Mineralisation einer Eischale
186 ± 26 mg (Versuch I)
bzw. 260 ± 93 mg (Versuch II)
In beiden Versuchen waren die zwischen den 12-Stunden-Intervallen mit und ohne Eischalenverkalkung festgestellten Unterschiede der endogenen Ca-Ausscheidung im Kot mit P 1 % statistisch gut zu sichern, während die zwischen den beiden Versuchsgruppen bestehenden Differenzen entsprechender Intervalle sich als nicht signifikant erwiesen.

6. Unter Zugrundelegung eines 24 - S t u n d e n - I n t e r v a l l s ist das endogene Kotcalcium
an Legetagen mit 302 ± 83 mg (Versuch I)
bzw. 377 ±131 mg (Versuch II)
und an Nichtlegetagen mit 321 ± 91 mg (Versuch I)
bzw. 488 +215 mg (Versuch II)
ermittelt worden. Auf Grund der guten Legeleistung der Versuchstiere standen für diesen Vergleich nur wenige Daten von Nichtlegetagen zur Verfügung, so daß sich eine Abhängigkeit der endogenen Ca-Ausscheidung im Kot für 24-Stunden-Intervalle statistisch nicht sichern ließ.

7. Bei einer täglichen Ca-Einnahme von durchschnittlich 3,22 ± 0,49 g resorbierten die 10 Monate alten Tiere (Versuch I) an Legetagen 2,42 ± 0,46 g Ca = 75,0 ± 8 %.

   An Nichtlegetagen betrug die Ca-Resorption pro Tier durchschnittlich 2,18 ± 0,53 g Ca oder 69,2 ± 13,8 % der Ca-Einnahme in Höhe von 3,13 ± 0,46 g.
   Die Ca-Retention dieser Versuchsgruppe betrug an
   Legetagen 2,1 ± 0,44 g Ca = 65,8 ± 8,8 %
   und an Nichtlegetg. 1,95 ± 0,39 g Ca = 62,2 ± 8,8 %
   der Ca-Einnahme. Die beobachteten Unterschiede in der Resorption und Retention von Nahrungs-Calcium zwischen Lege- und Nichtlegetagen waren bei den Tieren dieser Gruppe statistisch nicht zu sichern.

8. Die zweijährigen Legehennen resorbierten pro Tier an Legetagen durchschnittlich 2,73 ± 0,62 g Ca = 69,4 ± 10 % und an Nichtlegetagen 2,22 ± 0,63 g Ca = 60,4 ± 13 % des eingenommenen Calciums. Ihre Ca-Retention wurde an Legetagen mit 2,35 ± 0,58 g Ca = 60,5 ± 10,8 % und an Nicht-Legetagen mit 1,73 ± 0,63 g Ca = 48,1 ± 14,0 % der eingenommenen Ca-Menge ermittelt. Wegen der größeren Unterschiede bei dieser Versuchsgruppe in der Resorption und Retention von Calcium an Lege- und Nichtlegetagen ergab sich für die Differenz in der Ca-Resorption eine Signifikanz mit P 2 % und hinsichtlich der Retention von Ca mit P 1 %.

9. Eine Gegenüberstellung der in diesen Versuchen ermittelten Werte und der wenigen in der Literatur vorliegenden Angaben über die endogene Ca-Ausscheidung mit dem Kot und über die Ca-Resorption läßt bei Legehennen eine deutliche Abhängigkeit dieser Größe von der jeweiligen Ca-Einnahme erkennen.

VII Literaturnachweis

1. BERLIE, M.R.: Experiments with radioactive calcium (Ca^{45})
B. Eng. Thesis, Dept. of Chemistry, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada, 1949

2. BROWN, W.O. and K.J. McCRACKEN:
The partition of certain mineral nutrients in the colostomised laying pullet and the determination of faecal endogenous calcium and phosphorus excretion by an isotopic dilution method.
J.Agric.Sci., 64, 305 - 310 (1965)

3. COMAR, C.L. and J.C. DRIGGERS:
Secretion of radioactive calcium in the hen's egg.
Science, 109, 282 (1949)

4. DRIGGERS, J.C. and C.L. COMAR:
The secretion of radioactive calcium (Ca^{45}) in the hen's egg.
Poultry Sci., 28, 420 (1949)

5. ERDTMANN, G. und G. HERRMANN:
Wasserreiche Emulsionen zur Scintillationszählung wässeriger Lösungen von β - Strahlen.
Radiochemica Acta, 1, 98 (1963)

6. FUSSEL, M.H.: Studies on Calcium and Phosphorus Metabolism in the Hen with particular Reference to Absorption and Excretion.
Ph. D. Thesis, Sidney, Sussex College, Cambridge, 1960

7. GREUEL, E.: Zur Technik der Anus praeternaturalis-Operation beim Huhn.
Arch. f. Geflügelkde., 25, 503 - 507 (1961)

8. HARTFIEL, W.: Zur Bewertung von Futtermitteln mit Hühnern: IV. Über zwei Anus praeternaturalis-Operationen an Hühnern, durch die ein vollständiges Ausscheiden des Kotes über längere Zeit ermöglicht wird, sowie die Verwendung solcher Tiere zu Stoffwechseluntersuchungen.
Arch. f. Geflügelkde., 26, 2 - 21 (1962)

9. HASHIZUME, T., H. NOZAKE, K. HIROE, S. HORRII, Y. TAKEI, H. MORIMOTO and Y. KAISHIO:
Calcium metabolism in the laying Hen.
Bull. Nat., Inst. Agric. Sci., Chiba - Shi., Japan Series Cr., 4, 129 - 134 (1952)

10. HURWITZ, S.: Calcium turnover in different bone-segments of laying Fowl.
Amer. J. Physiol., 208, 203 - 207 (1965)

11. JOWSEY, J.R., M.R. BERLIE, J.W.T. SPINKS and J.B. O'NEILL:
Uptake of calcium by the laying Hen and subsequent transfer from egg to Chick.
Poultry Sci., 35, 1234 - 1238 (1956)

12. MUELLER, W.J., R. SCHRAER and H. SCHRAER:
Calcium metabolism and Skeletal Dynamics of Laying Pullets.
J. Nutr., 84, 20 - 26 (1964)

13. MUELLER - SETTELE, A.:
Beitrag zu den parameterfreien Testmethoden in der Biostatistik.
Zschr. f. Tierphysiol., Tierern. u. Futtermittelkde., 13, 160 (1958)

14. RAUCH, W.:
Über den Legerhythmus von Käfighennen.
Arch. f. Geflügelkde., 27, 156 (1963)

15. SIMKISS, K.:
Calcium metabolism and avian reproduction.
Biol. Revs, 36, 321 - 367 (1961)

16. STRINGER, D.A.:
The Chemistry and Physiology of Bone with Special Reference to Medullary bone in the fowl (Gallus domesticus L.)
Ph.D.Th., University of Reading, 1962

17. TAYLOR, T.G.:
Calcium - endocrine relationships in the laying Hen.
Proc. Nutr. Soc., 24, 49 - 54 (1965)

Herrn Professor Dr. Kurt BRONSCH gilt mein aufrichtiger Dank für das überlassene Thema und die stets gewährte freundliche Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit.

Herrn Oberassistent Dr. Konrad LÖRCHER danke ich sehr für die fachliche Beratung und Unterstützung in allen praktischen und theoretischen Fragen der Versuchsdurchführung und -Auswertung.

Frau Inge GROSSER und Frau Anneliese LENKE sei herzlich gedankt für ihre unermüdliche Hilfe bei der Durchführung der Analysen.

LEBENSLAUF

Am 19. April 1924 wurde ich als 3. Kind des Landwirts Anton KEHRER und seiner Frau Theresia geb. Kainberger in Neundling, Gemeinde Putzleinsdorf, Österreich, geboren.

Nach dem Besuch der Volksschule von 1930 - 1938 arbeitete ich bis zur Einberufung zur Wehrmacht im Sommer 1942 auf dem väterlichen Hofe. Die Kriegsjahre erlebte ich in Rußland. Nach der Heimkehr führte ich den Betrieb des Vaters bis Dezember 1951. Ab Januar 1952 besuchte ich die Bundeslehranstalt Seefeld-Raumberg, Österreich, und legte dort im Dezember 1954 die Reifeprüfung ab.

Im Oktober 1955 immatrikulierte ich mich an der landwirtschaftlichen Fakultät der Hochschule für Bodenkultur in Wien, wo ich 1959 das 4-jährige Studium mit der Staatsprüfung abschloß.

Von 1959 - 1963 studierte ich an der Freien Universität Berlin Veterinärmedizin, legte bis Mai 1964 das Staatsexamen ab und bin seit dieser Zeit am Institut für Tierzucht und Tierernährung der FU als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig.